

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VN

VIỆN VẬT LÝ ĐỊA CẦU

Họ và tên tác giả luận án:

TRẦN THỊ LAN

TÊN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

**NGHIÊN CỨU NỒNG ĐỘ ĐIỆN TỬ TỔNG CỘNG, ĐẶC
TRUNG GRADIENT TẦNG ĐIỆN LY VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA
CHÚNG TỚI QUÁ TRÌNH TRUYỀN TÍN HIỆU VỆ TINH
GPS Ở KHU VỰC VIỆT NAM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

HÀ NỘI - 2015

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VN

VIỆN VẬT LÝ ĐỊA CẦU

Họ và tên tác giả luận án:

TRẦN THỊ LAN

TÊN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

**NGHIÊN CỨU NỒNG ĐỘ ĐIỆN TỬ TỔNG CỘNG, ĐẶC
TRUNG GRADIENT TẦNG ĐIỆN LÝ VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA
CHÚNG TỚI QUÁ TRÌNH TRUYỀN TÍN HIỆU VỆ TINH
GPS Ở KHU VỰC VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Vật lý địa cầu

Mã số: 62 44 01 11

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Phản biện 1: PGS. TS. Đinh Văn Trung

Phản biện 2: PGS. TS. Đỗ Đức Thanh

Phản biện 3: TS. Dương Chí Công

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. TS. Lê Huy Minh, Viện Vật lý Địa cầu
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
2. TS. Patrick Lassudrie-Duchesne
Trường Đại học Viễn thông quốc gia Brest, Pháp

HÀ NỘI – 2015

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan công trình nghiên cứu này là của riêng tôi, được thực hiện tại Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, không sao chép của ai. Tất cả các số liệu nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được công bố ở bất kỳ công trình nào.

Tác giả của luận án

Trần Thị Lan

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành và sâu sắc nhất tới Tiến sĩ Lê Huy Minh, Viện Vật lý Địa cầu, người đã tận tình hướng dẫn từ những ngày đầu tiên khi tôi bước chân vào làm việc tại Đài Điện ly Phú Thụy. Trong toàn bộ thời gian làm luận án, Tiến sĩ Lê Huy Minh luôn giúp đỡ và sẵn sàng thảo luận về các kết quả nghiên cứu đạt được của tôi, kịp thời động viên tôi vượt qua những khó khăn trong cả quãng thời gian dài đã qua.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Tiến sĩ Patrick Lassudrie-Duchesne và TSKH Christine Amory-Mazaudier đã giúp đỡ để tôi có điều kiện thực hiện chuyến công tác làm việc tại Trường Đại học Viễn thông quốc gia Brest, chuẩn bị những kiến thức cơ bản cho việc thực hiện luận án. Tôi cũng chân thành cảm ơn Tiến sĩ Rolland Fleury, giảng viên Trường đại học viễn thông quốc gia Brest, Pháp, đã tận tình giúp đỡ việc hoàn thiện chương trình tính toán mật độ điện tử tổng cộng tầng điện ly từ số liệu GPS.

Tôi xin chân thành cảm ơn bạn bè đồng nghiệp tại Đài Điện ly và Phòng Địa từ cũng như các bạn bè đồng nghiệp của Viện Vật lý Địa cầu luôn khuyến khích, chia sẻ kinh nghiệm và tạo điều kiện giúp tôi hoàn thành luận án.

Cuối cùng, tôi xin gửi lòng biết ơn tới gia đình, bạn bè thân thiết đã luôn bên tôi để động viên, hỗ trợ trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu.

Hà Nội, ngày tháng năm 2015

Trần Thị Lan

MỤC LỤC

| | Trang |
|--|-------|
| MỞ ĐẦU | 1 |
| CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU | 6 |
| 1.1 Tình hình nghiên cứu trên thế giới..... | 6 |
| 1.2 Tình hình nghiên cứu trong nước..... | 15 |
| CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ TẦNG ĐIỆN LY VÀ HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU | 19 |
| 2.1 Tầng điện ly của Trái Đất..... | 19 |
| 2.1.1 Tầng điện ly và các lớp..... | 19 |
| 2.1.2 Lý thuyết hình thành các lớp điện ly và phân bố điện tử thẳng đứng | 23 |
| 2.1.2.1 Sự hình thành các lớp điện ly..... | 23 |
| 2.1.2.2 Hợp phần ion trong tầng điện ly..... | 27 |
| 2.1.2.3 Hàm sinh ion của Chapman..... | 29 |
| 2.1.3 Truyền sóng radio qua tầng điện ly..... | 31 |
| 2.1.4 Hoạt tính Mặt Trời..... | 33 |
| 2.1.5 Tầng điện ly vùng xích đạo và nhiễu loạn điện ly..... | 36 |
| 2.1.5.1 Tầng điện ly vùng xích đạo | 36 |
| 2.1.5.2 Lớp E rời rạc (Sporadic E)..... | 38 |
| 2.1.5.3 Vết lớp F trải rộng (Spread-F)..... | 38 |
| 2.1.5.4 Các nhiễu loạn điện ly..... | 39 |
| 2.2 Hệ thống định vị toàn cầu và cơ sở phân tích số liệu GPS | 42 |
| 2.2.1 Giới thiệu hệ thống định vị toàn cầu..... | 42 |
| 2.2.1.1 Bộ phận không gian..... | 43 |
| 2.2.1.2 Bộ phận điều khiển..... | 45 |
| 2.2.1.3 Bộ phận sử dụng..... | 45 |
| 2.2.2 Tín hiệu GPS..... | 46 |
| 2.2.3 Khả năng quan sát của GPS..... | 48 |
| 2.2.3.1 Giả khoảng cách (code)..... | 48 |

| | |
|---|-----|
| 2.2.3.2 Quan sát pha mang (Carrier phase)..... | 49 |
| 2.2.3.3 Quan sát Doppler | 50 |
| 2.2.4 Các nguồn lỗi của tín hiệu GPS..... | 50 |
| 2.2.5 Ảnh hưởng của tầng điện ly lên tín hiệu GPS..... | 53 |
| 2.2.5.1 Sự trễ nhóm – sai số khoảng cách tuyệt đối..... | 54 |
| 2.2.5.2 Sự sớm pha – sai số khoảng cách tương đối..... | 55 |
| 2.2.5.3 Sự trôi dạt Doppler-sai số khoảng cách do dịch chuyển | 57 |
| điện ly..... | |
| 2.2.5.4 Nhấp nháy tín hiệu..... | 57 |
| CHƯƠNG 3. NỒNG ĐỘ ĐIỆN TỬ TỔNG CỘNG TẦNG ĐIỆN LY VÀ | |
| QUY LUẬT BIẾN ĐỔI THEO THỜI GIAN Ở KHU VỰC VIỆT NAM | 61 |
| 3.1 Số liệu và phương pháp nghiên cứu..... | 61 |
| 3.1.1. Số liệu | 61 |
| 3.1.2. Phương pháp nghiên cứu..... | 65 |
| 3.1.2.1 Rút ra thông tin nồng độ điện tử tổng cộng từ máy thu | |
| GPS hai tần số | 65 |
| 3.1.2.2 Mô hình lớp đơn và hàm vẽ..... | 67 |
| 3.1.2.3 Mô hình TEC toàn cầu GIMs..... | 69 |
| 3.1.2.4 Xác định độ trễ phần cứng máy thu và vệ tinh..... | 71 |
| 3.1.2.5 Chương trình tính toán nồng độ điện tử tổng cộng từ số | |
| liệu GPS..... | 75 |
| 3.2. Biến thiên theo thời gian ngày đêm của TEC khu vực Việt Nam..... | 79 |
| 3.3. Biến thiên theo mùa và sự phụ thuộc vào mức độ hoạt động mặt | |
| trời | 86 |
| 3.4 Đặc trưng phân bố theo vĩ độ..... | 91 |
| CHƯƠNG 4. ĐẶC TRƯNG XUẤT HIỆN NHẤP NHÁY ĐIỆN LY KHU | |
| VỰC VIỆT NAM VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NÓ LÊN QUÁ TRÌNH | |
| TRUYỀN TÍN HIỆU VỆ TINH GPS | 103 |
| 4.1 Thiết bị và phương pháp nghiên cứu..... | 103 |
| 4.1.1 Thiết bị..... | 103 |

| | |
|--|------------|
| 4.1.2 Phương pháp nghiên cứu..... | 103 |
| 4.2 Đặc trưng xuất hiện nhấp nháy theo thời gian trong ngày..... | 106 |
| 4.3 Đặc trưng xuất hiện theo mùa và mức độ hoạt động mặt trời..... | 108 |
| 4.4 Đặc trưng xuất hiện theo không gian..... | 117 |
| 4.5 Sử dụng dao động pha GPS nghiên cứu sự xuất hiện nhiễu loạn điện ly khu vực Việt Nam..... | 121 |
| 4.6 Ảnh hưởng của nhấp nháy điện ly lên quá trình truyền tín hiệu vệ tinh GPS | 128 |
| KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ..... | 137 |
| DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ..... | 140 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO | 141 |

Danh sách hình vẽ

| | |
|--|----|
| <i>Hình 1.1</i> , Bản đồ TEC toàn cầu | 7 |
| <i>Hình 1.2</i> , Biến thiên theo mùa và theo thời gian của giá trị TEC trung bình tháng tại một số trạm ở Ấn Độ | 9 |
| <i>Hình 1.3</i> , Bản đồ phân bố nhấp nháy điện ly toàn cầu tại 23hLT theo mô hình dự báo WBMOD | 11 |
| <i>Hình 1.4</i> , Thống kê nhấp nháy theo thời gian, vĩ độ và theo mùa tại Ấn Độ | 13 |
| <i>Hình 1.5</i> , Vị trí các máy thu đặt trong vùng xích đạo của dự án PRIS | 15 |
| <i>Hình 1.6</i> , Vị trí ba máy thu GPS tại Việt Nam và vết vệ tinh quan sát tại độ cao 400 km trên tầng điện ly | 17 |
| <i>Hình 2.1</i> , Sơ đồ tầng khí quyển và các lớp điện ly của Trái Đất | 20 |
| <i>Hình 2.2</i> , Hợp phần khí quyển và tầng điện ly trong thời gian ngày dựa trên phép đo phổ kế khối lượng và vệ tinh | 27 |
| <i>Hình 2.3</i> , Phân bố tuyến mật độ thẳng đứng của lớp Chapman và tốc độ sinh ion Chapman theo góc thiên đỉnh Mặt Trời từ 0° đến 85° với bước thay đổi 5° | 31 |
| <i>Hình 2.4</i> , Mô hình truyền sóng qua tầng điện ly | 32 |
| <i>Hình 2.5</i> , Số vết đen mặt trời trung bình tháng từ năm 1965 đến 2014 | 34 |
| <i>Hình 2.6</i> , Tọa độ và vị trí trạm quan sát Dst | 35 |
| <i>Hình 2.7</i> , Biến thiên của chỉ số Dst từ ngày 12/04 đến ngày 17/04/2006 | 36 |
| <i>Hình 2.8</i> , Hiệu ứng vòi phun xích đạo | 37 |
| <i>Hình 2.9</i> , Mô hình Dynamo nhiễu loạn điện ly | 40 |
| <i>Hình 2.10</i> , Các bộ phận trong hệ thống GPS | 42 |
| <i>Hình 2.11</i> , Vệ tinh GPS và quỹ đạo bay trong 6 mặt phẳng nghiêng 55° | 43 |
| <i>Hình 2.12</i> , Vết các vệ tinh GPS trên mặt đất | 44 |
| <i>Hình 2.13</i> , Các trung tâm điều khiển GPS | 45 |
| <i>Hình 2.14</i> , Tín hiệu GPS | 47 |
| <i>Hình 2.15</i> , Thời gian truyền tín hiệu giữa vệ tinh và máy thu GPS | 48 |
| <i>Hình 2.16</i> , Phép đo pha trong nghiên cứu GPS | 48 |
| <i>Hình 2.17</i> , Hiệu ứng đa đường truyền trong quan sát GPS | 52 |

| | |
|---|----|
| <i>Hình 2.18</i> , Nhấp nháy của tín hiệu vệ tinh khi truyền qua môi trường điện ly nhiều loạn về mật độ điện tử | 58 |
| <i>Hình 2.19</i> , Sự suy giảm tín hiệu trên dải tần L trong giai đoạn Mặt Trời hoạt động mạnh (trái) và yếu (phải) | 60 |
| <i>Hình 3.1</i> , Hình ảnh bộ máy thu GSV4004 ở Việt Nam | 62 |
| <i>Hình 3.2</i> , Mô hình lớp đơn tầng điện ly | 68 |
| <i>Hình 3.3</i> , Ví dụ về bản đồ điện ly toàn cầu và vị trí các trạm thu GPS hiện nay | 69 |
| <i>Hình 3.4</i> , Giá trị TEC tính từ mô hình toàn cầu tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh vào tháng 01/2010 | 70 |
| <i>Hình 3.5</i> , Độ trễ thiết bị (vệ tinh+máy thu) trong tháng 10/2010 tại Hà Nội, Huế và TP. Hồ Chí Minh | 72 |
| <i>Hình 3.6</i> , Giá trị TEC đã hiệu chỉnh độ trễ thiết bị của tất cả các vệ tinh nhìn thấy, giá trị TEC trung bình cho từng thời điểm quan sát và TEC từ mô hình toàn cầu trong ngày 02/01/2010 tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh. | 74 |
| <i>Hình 3.7</i> , Sơ đồ khối chương trình tính toán TEC | 77 |
| <i>Hình 3.8</i> , Biến thiên TECV hàng ngày trong tháng 10/2010 tại Hà Nội | 78 |
| <i>Hình 3.9</i> , Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2006 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh | 80 |
| <i>Hình 3.10</i> , Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2007 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh | 81 |
| <i>Hình 3.11</i> , Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2008 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh | 82 |
| <i>Hình 3.12</i> , Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2009 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh | 83 |
| <i>Hình 3.13</i> , Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2010 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh | 84 |
| <i>Hình 3.14</i> a) Biến thiên tần số f_0F_2 tại Phú Thụy; b) Biến thiên tần số f_0F_2 tại Thành phố Hồ Chí Minh | 86 |

| | |
|--|-----|
| <i>Hình 3.15</i> , Biến thiên theo mùa trong năm 2009 và 2010 tại Hà Nội | 87 |
| <i>Hình 3.16</i> , Biến thiên theo mùa trong năm 2009 và 2010 tại Huế | 87 |
| <i>Hình 3.17</i> , Biến thiên theo mùa trong năm 2009 và 2010 tại TP. Hồ Chí Minh | 88 |
| <i>Hình 3.18</i> , Sự biến đổi theo thời gian của mật độ các hợp phần khí lúc 12h00 LT tại độ cao 200km, trong năm 1989 theo mô hình điện ly MSIS-86 | 89 |
| <i>Hình 3.19</i> , Biến thiên biên độ cực đại TEC tại a) Hà Nội, b) Huế, c) TP. Hồ Chí Minh và d) Số vết đen mặt trời giai đoạn từ 2006 đến 2010 | 90 |
| <i>Hình 3.20</i> , Vết của các vệ tinh với a) theo kinh độ và vĩ độ và b) theo vĩ độ và thời gian trên độ cao 400 km của tầng điện ly nhìn thấy bởi các máy thu tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh ngày 29/05/2008 | 92 |
| <i>Hình 3.21</i> , Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2006 khu vực Việt Nam. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu. | 93 |
| <i>Hình 3.22</i> , Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2007 khu vực Việt Nam. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu. | 94 |
| <i>Hình 3.23</i> , Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2008 khu vực Việt Nam. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu. | 95 |
| <i>Hình 3.24</i> , Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2009 khu vực Việt Nam. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu. | 96 |
| <i>Hình 3.25</i> , Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2010 khu vực Việt Nam. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu. | 97 |
| <i>Hình 3.26</i> , Số vết đen Mặt trời trung bình tháng; b) Biên độ đỉnh dị thường TEC ngày đêm trung bình tháng ; c) vĩ độ đỉnh dị thường và d) thời gian đạt cực đại, số liệu giai đoạn 2006-2010 | 99 |
| <i>Hình 3.27</i> , Mô hình tổ hợp lý thuyết gió trung hòa chuyển qua xích đạo, vị trí điểm gần Mặt Trời và gió thổi từ vùng cực về phía xích đạo vào thời kỳ điểm chí với a) Hạ chí nằm ở bán cầu Bắc và b) Hạ chí nằm ở bán cầu Nam | 100 |
| <i>Hình 4.1</i> , Giới hạn lọc biên độ nhấp nháy tương ứng với hai trường hợp tại trạm Huế: a) Môi trường không có nhấp nháy và b) Môi trường có nhấp | 106 |

| | |
|--|-----|
| nháy. | |
| <i>Hình 4.2</i> , Đặc trưng xuất hiện theo thời gian trong ngày của nhấp nháy trong giai đoạn 2006 – 2010 trên cả ba trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh. | 107 |
| <i>Hình 4.3</i> , Thống kê sự xuất hiện nhấp nháy theo từng tháng trong năm và theo độ lớn tại Hà Nội (trái), Huế (giữa) và Tp Hồ Chí Minh (phải) trong giai đoạn 2006-2010 | 109 |
| <i>Hình 4.4</i> , Số vết đen mặt trời và sự xuất hiện nhấp nháy theo hai mức độ lớn tại Hà Nội, Huế và TP. Hồ Chí Minh trong giai đoạn 2006-2011 | 110 |
| <i>Hình 4.5</i> , Biến thiên của thành phần nằm ngang H của trường địa từ tại Phú Thọ, chỉ số Dst và kết quả thống kê sự xuất hiện nhấp nháy khu vực Việt Nam trong trận bão từ ngày 11/10/2010, các mũi tên chỉ thời điểm bắt đầu của pha đầu, pha chính và pha hồi phục của bão | 111 |
| <i>Hình 4.6</i> , Biến đổi của TEC theo vĩ độ và theo thời gian từ ngày 10 đến 14/10/2010. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 5 TECu. | 112 |
| <i>Hình 4.7</i> , Biến thiên của thành phần nằm ngang H của trường địa từ tại Phú Thọ, chỉ số Dst và kết quả thống kê sự xuất hiện nhấp nháy khu vực Việt Nam trong trận bão từ ngày 24-25/10/2011, các mũi tên chỉ thời điểm bắt đầu của pha đầu, pha chính và pha hồi phục của bão | 113 |
| <i>Hình 4.8</i> , Biến đổi của TEC theo vĩ độ và theo thời gian từ ngày 23 đến 27/10/2011. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 5 TECu. | 114 |
| <i>Hình 4.9</i> , Sự thâm nhập của điện trường có nguồn gốc từ quyển xuống tầng điện ly | 115 |
| <i>Hình 4.10</i> , Phân bố thống kê nhấp nháy xuất hiện theo không gian khu vực Việt Nam và lân cận năm 2006 | 117 |
| <i>Hình 4.11</i> , Phân bố thống kê nhấp nháy xuất hiện theo không gian khu vực Việt Nam và lân cận năm 2007 | 118 |
| <i>Hình 4.12</i> , Phân bố thống kê nhấp nháy xuất hiện theo không gian khu vực Việt Nam và lân cận năm 2008 | 118 |
| <i>Hình 4.13</i> , Phân bố thống kê nhấp nháy xuất hiện theo không gian khu vực Việt Nam và lân cận năm 2009 | 119 |

| | |
|---|-----|
| <i>Hình 4.14</i> , Phân bố thống kê nhấp nháy xuất hiện theo không gian khu vực Việt Nam và lân cận năm 2010 | 119 |
| <i>Hình 4.15</i> , Phân bố thống kê nhấp nháy xuất hiện theo không gian khu vực Việt Nam và lân cận năm 2011 | 120 |
| <i>Hình 4.16</i> , Thống kê xuất hiện nhấp nháy theo vĩ độ từ 2006-2011 trên cả ba trạm quan sát | 121 |
| <i>Hình 4.17</i> , Phân bố nhiễu loạn điện ly toàn cầu sử dụng chỉ số ROTI từ các dao động pha GPS trong trận bão từ 10/1/1997 | 123 |
| <i>Hình 4.18</i> , Bản đồ dao động pha ROTI (\square - ROTI < 1; ∇ - ROTI \geq 1) chỉ ra sự xuất hiện nhiễu loạn điện ly khu vực Việt Nam trong 5 ngày 10, 11, 12, 13 và 14/10/2010 | 125 |
| <i>Hình 4.19</i> , Bản đồ dao động pha ROTI (\square - ROTI < 1; ∇ - ROTI \geq 1) chỉ ra sự xuất hiện nhiễu loạn điện ly khu vực Việt Nam trong 5 ngày 23, 24, 25, 26 và 27/10/2011 | 126 |
| <i>Hình 4.20</i> , Mô hình về ảnh hưởng của nhấp nháy điện ly lên tín hiệu vệ tinh GPS | 128 |
| <i>Hình 4.21</i> , Nhấp nháy gây mất tín hiệu trên tần số f_2 của vệ tinh thứ 23 trong ngày 5/4/2011 tại Hà Nội | 129 |
| <i>Hình 4.22</i> , Thống kê nhấp nháy theo hai mức độ lớn trong tháng 10/2011 tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh | 130 |
| <i>Hình 4.23</i> , DOP và chùm vệ tinh nhìn thấy | 132 |
| <i>Hình 4.24</i> , Số vệ tinh nhìn thấy và giá trị GDOP tại a) Hà Nội, b) Huế và c) TP. Hồ Chí Minh | 134 |
| <i>Hình 4.25</i> , Biên độ nhấp nháy trung bình và sai số khoảng cách tương ứng ($d=0,1$) tại a) Hà Nội, b) Huế và c) Tp Hồ Chí Minh ngày 24/10/2011 | 135 |

Danh sách bảng biểu

| | |
|--|-----|
| Bảng 2.1 Các quá trình tạo và mất ion | 26 |
| Bảng 2.2 Tổng số vệ tinh GPS và tình trạng hoạt động | 44 |
| Bảng 2.3 Mô hình sai số chuẩn cho mã C/A | 51 |
| Bảng 2.4 Mối quan hệ giữa các tham số đo GPS và TEC tầng điện ly | 56 |
| Bảng 3.1: Vị trí các trạm thu GPS ở Việt Nam | 61 |
| Bảng 3.2: Các thông số thu nhận trực tiếp từ máy thu GSV4004 | 62 |
| Bảng 4.1, Khả năng mất tín hiệu trên tần số f_2 | 131 |
| Bảng 4.2, Đánh giá trị số GDOP trung bình | 133 |

Danh sách ký tự viết tắt

1. AS: Anti-Spoofing, Chống nhái.
2. C/A code: Coarse/acquisition code, mã thu nhận/thô.
3. CAWSES: Climate and Weather Sun-Earth System, Khí hậu và Thời tiết Hệ thống Mặt Trời-Trái Đất.
4. CODE: Center for Orbit Determination in Europe, Switzerland, Trung tâm Xác định Quỹ đạo Châu Âu, Thụy Sĩ.
5. DCBs: Differential Code Biases, Độ lệch mã vi phân.
6. DOP: Dilution Of Precision, Giảm độ chính xác.
7. Dst: Disturbance – storm time, Chỉ số nhiễu loạn thời gian bão từ.
8. EMR: Energy, Mines and Resources, Canada, Năng lượng, Tài nguyên và Khoáng sản, Canada.
9. ESA: European Space Agency, Germany, Cơ quan Không gian Vũ trụ Châu Âu, Đức.
10. ESF: Equatorial Spread F, Vết lớp F trải rộng xích đạo.
11. GPS: Global Positioning System, Hệ thống định vị toàn cầu.
12. GEONET: GPS Earth Observation Network, Mạng lưới quan sát Trái Đất bằng GPS.
13. GDOP: Geometric Dilution of Precision, Giảm độ chính xác hình học.
14. GIM: Global Ionospheric Mapping, Bản đồ điện ly toàn cầu.
15. GISM : Global Ionospheric Scintillation Model, Mô hình nhấp nháy điện ly toàn cầu.
16. GISTM: GPS Ionospheric Scintillation & TEC Monitor, Theo dõi TEC và nhấp nháy điện ly bằng GPS.
17. GLONASS: GLObal Navigation Satellite System, Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu của Nga.
18. GNSS: Global Navigation Setellite System, Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu.
19. IEEA: Informatique, Electromagnétisme, Electronique, Analyse numérique: Tin, điện từ, điện tử, phân tích số.

20. IGS: International GPS Service, Dịch vụ GPS quốc tế.
21. IRI: International Reference Ionosphere, Mô hình điện ly chuẩn quốc tế.
22. ISM: Ionospheric Scintillation Monitor, Theo dõi nhấp nháy điện ly.
23. JPL: Jet Propulsion Laboratory, USA, Phòng thí nghiệm Phản lực, Hoa Kỳ.
24. LSTIDs: Large-scale Traveling Ionospheric Disturbances, Các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô lớn.
25. LT: Local Time, Giờ địa phương.
26. MSTIDs: Medium-scale Traveling Ionospheric Disturbances, Các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô trung bình.
27. NASA: National Aeronautics and Space Administration, Cơ quan Hàng không và Không gian quốc gia, Hoa Kỳ.
28. PCA: Polar Cap Absorption, Hấp thụ mũ cực.
29. PPS: Precise Positioning Service, Dịch vụ định vị chính xác.
30. PRIS : Prediction Ionospheric Scintillation, Nhấp nháy điện ly dự báo.
31. PRE: Preversal Electric Field Enhancement, Sự gia tăng trường điện trước khi đảo chiều.
32. PRN: Pseudo-Random Noise, Nhiễu giả-ngẫu nhiên.
33. ROT: Rate Of TEC, Tốc độ thay đổi TEC.
34. ROTI: Rate Of TEC Index, Chỉ số của tốc độ thay đổi TEC.
35. RT: Rayleigh-Taylor.
36. SSTIDs: Small-scale Traveling Ionospheric Disturbances, Các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô nhỏ.
37. SID: Sudden Ionospheric Disturbance, Nhiễu loạn điện ly bất ngờ.
38. TEC: Total Electron Content, Nồng độ điện tử tổng cộng.
39. TECV: Total Electron Content Vertical, Nồng độ điện tử tổng cộng thẳng đứng.
40. TECu: Total Electron Content Unit, Đơn vị nồng độ điện tử tổng cộng.
41. TID: Traveling Ionospheric Disturbances, Các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển.
42. UERE: User Equivalent Range Error, Sai số khoảng cách tương đương

người sử dụng.

43. UPC: Polytechnical University of Catalonia, Spain, Trường đại học Bách khoa Catalonia, Tây Ban Nha.

44. UT: Universal Time, Giờ quốc tế.

45. WBMOD : WideBand MODel, Mô hình dải rộng.

MỞ ĐẦU

Hệ thống định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System) là một hệ thống dẫn đường bằng vệ tinh trong không gian ở mọi thời tiết, mọi nơi trên Trái Đất, được chính phủ Mỹ xây dựng và phát triển từ cuối những năm 1970 phục vụ cho các mục đích dân sự và quân sự trong việc xác định chính xác vị trí, vận tốc và thời gian ở khắp mọi nơi ở trên và gần mặt đất. Hệ thống gồm 24 vệ tinh (hoặc hơn), phân bố trên 6 mặt phẳng quỹ đạo và bay xung quanh Trái đất ở độ cao khoảng 20200 km. Mỗi vệ tinh GPS truyền thông tin định vị trên hai tần số f_1 (1,57542 GHz) và f_2 (1,22760 GHz), một số vệ tinh GPS phóng từ 2010 được bổ sung thêm tần số phát f_5 (1,17645 GHz). Về nguyên tắc, GPS là một hệ thống đo khoảng cách một chiều, tín hiệu được phát ra bởi một vệ tinh và thu được bởi một máy thu phù hợp. Tín hiệu điện từ phát ra từ các vệ tinh GPS tới các máy thu trên mặt đất chịu ảnh hưởng tán xạ của tầng điện ly và tầng khí quyển, vì thế mức độ chính xác của phép định vị GPS phụ thuộc nhiều yếu tố: độ trễ gây bởi tầng điện ly, độ trễ gây bởi tầng khí quyển, độ trễ đồng hồ của vệ tinh và máy thu, và nhiễu thu nhận tín hiệu... Trong số các yếu tố này, ảnh hưởng gây bởi tầng điện ly là đáng kể nhất.

Tầng điện ly bao phủ vùng trong khoảng độ cao từ 50km tới 1500km phía trên bề mặt Trái Đất và được đặc trưng bởi sự xuất hiện của một lượng đáng kể các ion và electron tự do đủ để phản xạ hoặc ảnh hưởng tới các sóng điện từ truyền qua nó. Đối với các sóng radio, tầng điện ly là môi trường tán xạ, chỉ số khúc xạ là một hàm của tần số sóng, và hai tần số GPS sử dụng cũng bị tác động trực tiếp bởi tầng điện ly khi truyền từ vệ tinh tới máy thu trên mặt đất. Nó gây ra sự sớm pha và sự trễ nhóm khi tín hiệu GPS truyền qua, và mức độ ảnh hưởng tỷ lệ thuận với giá trị nồng độ điện tử tổng cộng (Total Electron Content - TEC) trên đường truyền tín hiệu tại thời điểm đó [46, 70, 79]. Bằng phép phân tích độ trễ giữa hai tín hiệu quan sát sẽ cho phép rút ra thông tin về mật độ điện tử trong tầng điện ly từ số liệu máy thu GPS hai tần số [79]. Tầng điện ly là môi trường plasma bất đồng nhất và bất đẳng hướng, ở đó các vùng nhiễu loạn về mật độ điện tử xuất hiện ngẫu nhiên và liên quan đến các quá trình động học diễn ra phức tạp trong tầng điện ly. Khi tín hiệu GPS truyền qua một vùng nhiễu loạn về mật độ điện tử sẽ bị dao động nhanh

về biên độ và pha của tín hiệu, hiện tượng này được gọi là nhấp nháy điện ly. Các nhấp nháy làm giảm sự chính xác của phép đo khoảng cách và pha của các máy thu GPS. Biên độ nhấp nháy mạnh đôi khi có thể gây ra sự sụt giảm công suất của tín hiệu xuống dưới ngưỡng máy thu và do đó gây ra sự mất tín hiệu trong thời gian quan sát. Pha nhấp nháy mạnh có thể gây ra sự trôi dạt Doppler trong tần số của tín hiệu thu nhận và đôi khi có thể gây ra sự mất pha tín hiệu của máy thu [13, 28, 51]... và do đó sẽ ảnh hưởng tới độ chính xác trong phép đo định vị bằng GPS [34, 73, 80]. Như vậy ảnh hưởng của tầng điện ly là nguồn sai số trong phép đo đạc GPS với mục đích định vị, nhưng lại là một nguồn số liệu quý giá cho phép nghiên cứu tầng điện ly, và việc sử dụng tín hiệu thu được tại các máy thu GPS liên tục trên mặt đất ở khu vực Việt Nam cho việc nghiên cứu điện ly là chủ đề của luận án này.

Xuất xứ đề tài luận án

Lãnh thổ Việt Nam nằm ở vùng vĩ độ thấp khu vực Đông Nam Á, trải dài từ vĩ độ địa lý $8^{\circ}37'30''\text{N}$ (chót mũi Cà Mau) tới vĩ độ địa lý $23^{\circ}21'30''\text{N}$ (đỉnh Lũng Cú), tương ứng trong khoảng vĩ độ từ (niên đại 2010,0) từ $0,84^{\circ}\text{N}$ tới $16,89^{\circ}\text{N}$. Như vậy xích đạo từ nằm cách chót mũi Cà Mau chưa đầy 100 km về phía Nam, và do ở vị trí như vậy nên tầng điện ly ở khu vực Việt Nam có nhiều đặc trưng biến đổi phức tạp hơn so với vùng vĩ độ khác liên quan tới hiệu ứng vòi phun xích đạo, hiện tượng nhấp nháy điện ly... Trước năm 2005 mạng lưới trạm thu GPS liên tục trong vùng còn chưa được lắp đặt và vấn đề nhấp nháy điện ly còn chưa được nghiên cứu. Từ tháng 4/2005, trong khuôn khổ hợp tác giữa Viện Vật lý địa cầu (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam), Trường Đại học Tổng hợp Rennes 1 và Trường Viễn thông Quốc gia Brest (Pháp), 3 trạm thu GPS đã được đặt tại Việt Nam để theo dõi sự thay đổi theo thời gian của nồng độ điện tử tổng cộng và nhấp nháy điện ly trong vùng xích đạo. Việc đặt ba trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS liên tục ở Hà Nội ($21^{\circ}02'50''\text{N}$, $105^{\circ}47'59''\text{E}$), Huế ($16^{\circ}27'33''\text{N}$, $107^{\circ}35'33''\text{E}$), và TP Hồ Chí Minh ($10^{\circ}50'54''\text{N}$, $106^{\circ}33'35''\text{E}$) đã mở ra một hướng nghiên cứu điện ly mới ở Việt Nam so với trước đây chỉ sử dụng số liệu thăm dò thẳng đứng tầng điện ly tại Phú Thụ và Tp. Hồ Chí Minh. Với nguồn số liệu liên tục từ ba trạm thu GPS trải đều ở ba miền Bắc-Trung-Nam là một thuận lợi trong nghiên cứu tầng điện ly

cho khu vực Việt Nam. Trong bối cảnh trên đề tài “*Nghiên cứu nồng độ điện tử tổng cộng, đặc trưng gradient tầng điện ly và ảnh hưởng của chúng tới quá trình truyền tín hiệu vệ tinh GPS ở khu vực Việt Nam*” được xây dựng dưới sự hướng dẫn của TS. Lê Huy Minh (Việt Nam) và TS. Patrick Lassudrie-Duchesne (Pháp)

Mục đích và nhiệm vụ của luận án

Luận án nghiên cứu các đặc trưng biến thiên nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly, nhấp nháy điện ly khu vực Việt Nam sử dụng chuỗi số liệu từ năm 2006 đến 2011 thu được từ ba máy thu GPS liên tục đặt tại Hà Nội, Huế và thành phố Hồ Chí Minh. Với mục đích trên, luận án giải quyết những vấn đề sau:

1. Tìm hiểu phương pháp và thuật toán rút ra thông tin về tầng điện ly từ số liệu vệ tinh GPS.
2. Nghiên cứu các đặc trưng biến đổi theo thời gian của TEC khu vực Việt Nam như: biến thiên ngày đêm, biến thiên theo mùa và theo hoạt động mặt trời trong giai đoạn nghiên cứu.
3. Thống kê sự xuất hiện nhấp nháy điện ly (gradient TEC) chỉ ra các quy luật xuất hiện theo thời gian, phân bố theo không gian, mối tương quan với mức độ hoạt động của mặt trời và ảnh hưởng của chúng lên tín hiệu vệ tinh GPS.

Kết quả khoa học và ý nghĩa thực tiễn

1. Đây là công trình nghiên cứu lần đầu tiên ở Việt Nam về biến thiên nồng độ điện tử tổng cộng và nhấp nháy điện ly sử dụng số liệu vệ tinh GPS.
2. Đã góp phần khẳng định về các đặc trưng biến thiên của TEC và sự xuất hiện nhấp nháy điện ly ở khu vực Việt Nam.
- 3, Tạo dựng cơ sở dữ liệu quan trọng ban đầu phục vụ cho mục tiêu nghiên cứu dự báo điện ly, nhấp nháy điện ly khu vực Việt Nam trong tương lai.

Các luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Áp dụng phương pháp mới để xác định độ trễ thiết bị trong phép tính nồng độ điện tử tổng cộng từ số liệu GPS. Sử dụng phương pháp tính nồng độ điện tử đã hoàn thiện cho số liệu GPS liên tục ở Việt Nam, chỉ ra các đặc trưng biến thiên của nồng độ điện tử tổng cộng theo thời gian, theo mùa và theo sự hoạt động của Mặt Trời trong giai đoạn nghiên cứu.

Luận điểm 2: Chỉ ra đặc trưng xuất hiện nhấp nháy điện ly cho khu vực Việt Nam: quy luật xuất hiện theo thời gian ngày đêm, quy luật xuất hiện theo mùa và sự phụ thuộc theo hoạt tính mặt trời.

Những đóng góp mới của luận án

1. Áp dụng phương pháp mới xác định độ trễ thiết bị trong phép tính nồng độ điện tử tổng cộng từ số liệu GPS hai tần số, hoàn thiện chương trình tính nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly sử dụng phép đo giả khoảng cách.
2. Chỉ ra các đặc trưng biến thiên của nồng độ điện tử tổng cộng theo thời gian, theo mùa và theo sự hoạt động của mặt trời. Xây dựng các bản đồ phân bố TEC theo thời gian và vĩ độ cho khu vực Việt Nam giai đoạn 2006-2010.
3. Lần đầu tiên công bố các kết quả thống kê và chỉ ra đặc trưng xuất hiện nhấp nháy điện ly cho khu vực Việt Nam.

Cấu trúc luận án

Luận án ngoài phần mở đầu và kết luận được chia thành 4 chương:

Chương 1 giới thiệu tổng quan về tình hình nghiên cứu trên thế giới và ở Việt Nam trong lĩnh vực của đề tài luận án.

Chương 2 giới thiệu cơ sở lý thuyết về hai vấn đề: thứ nhất là tổng quan về tầng điện ly một cách ngắn gọn, các lớp điện ly, lý thuyết hình thành và vai trò của tầng điện ly trong quá trình truyền sóng, đặc trưng của tầng điện ly vùng xích đạo; thứ hai là tổng quan về hệ thống định vị toàn cầu, các tín hiệu GPS và các thông số quan sát được từ hệ thống này, các nguồn gây nhiễu, và ảnh hưởng của tầng điện ly lên tín hiệu vệ tinh GPS.

Chương 3 giới thiệu về kết quả nghiên cứu nghiên cứu nồng độ điện tử tổng cộng ở Việt Nam bao gồm hai phần: Phần thứ nhất giới thiệu phương pháp tính giá trị nồng độ điện tử tổng cộng từ số liệu GPS. Phần thứ hai là ứng dụng phương pháp để tính và nghiên cứu cho tầng điện ly khu vực Việt Nam từ số liệu của ba trạm thu GPS. Đưa ra các quy luật biến đổi TEC theo thời gian, theo mùa và theo hoạt động của Mặt Trời trong vùng này. Bản đồ phân bố TEC cho khu vực Việt Nam theo vĩ độ và thời gian cũng được xây dựng và công bố.

Chương 4 giới thiệu phương pháp xử lý số liệu nhấp nháy, các kết quả thống kê và chỉ ra đặc trưng xuất hiện nhấp nháy điện ly khu vực Việt Nam. Một số kết quả bước đầu khi sử dụng dao động pha tín hiệu GPS chỉ ra hoạt động nhiễu loạn điện ly trong khu vực và ảnh hưởng của nó lên tín hiệu vệ tinh GPS.

Trong phần kết luận sẽ tổng hợp lại các kết quả đạt được trong luận án, đưa ra các kiến nghị và đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

Kết quả của luận án được công bố ở:

- 1) Hội nghị khoa học quốc tế về SEALION, Bangkok-Thailand, 2011.
- 2) Hội nghị khoa học quốc tế về Vật lý Địa cầu - Hợp tác và phát triển bền vững, 14-17/11/2012, Hà Nội.
- 3) Hội nghị khoa học quốc tế GINESTRA về thăm dò và nghiên cứu tầng điện ly vùng Châu Á - Thái Bình Dương, 24/1/2013, Hà Nội.
- 4) Hội nghị khoa học hàng năm của Viện Vật lý Địa cầu và đã đăng 05 bài báo trên Tạp chí Các Khoa học về Trái đất và quốc tế được liệt kê trong danh mục công trình công bố của tác giả.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

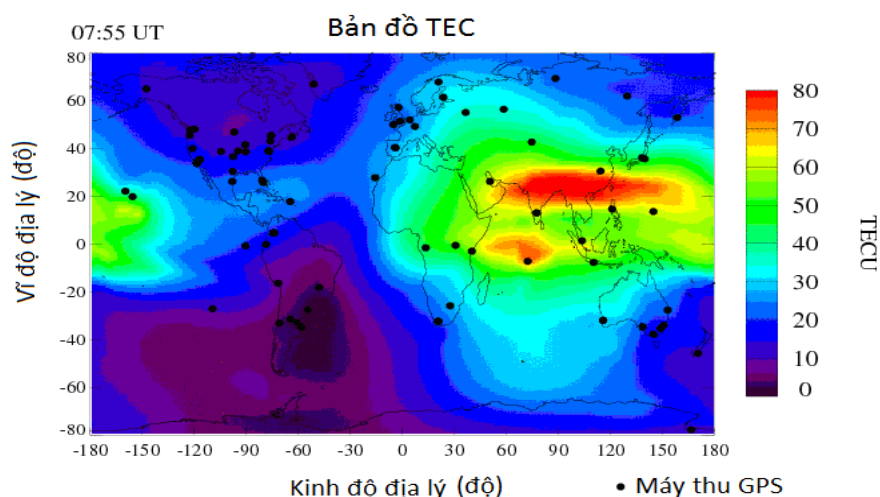
1.1 Tình hình nghiên cứu trên thế giới

Từ những năm 1960 hệ thống dẫn đường vệ tinh toàn cầu đầu tiên của Mỹ được xây dựng và phát triển (chương trình TRANSIT), những nghiên cứu sử dụng hệ thống định vị vệ tinh với nhiều mục đích khác nhau được bắt đầu. Năm 1996 chương trình TRANSIT kết thúc, và hệ thống này được thay thế bởi hệ thống định vị vệ tinh chính xác hơn được gọi là hệ thống định vị toàn cầu đo thời gian và khoảng cách bằng vệ tinh dẫn đường (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System – NAVSTAR GPS, hoặc ngắn gọn hơn là hệ thống định vị toàn cầu (Global Positioning System – GPS), các nghiên cứu về ảnh hưởng của tầng điện ly tới sự truyền tín hiệu phát ra từ các vệ tinh GPS tới các máy thu đặt trên bề mặt Trái Đất bắt đầu phát triển và sau đó các ứng dụng khoa học từ công nghệ GPS ngày càng phát triển mạnh mẽ. Nhiều nhóm nghiên cứu xây dựng và phát triển các thuật toán, phần mềm xử lý số liệu GPS từ mạng lưới dịch vụ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (Global Navigation Satellite System - GNSS) để thu được các bản đồ nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly ở phạm vi toàn cầu. Rất nhiều nhà khoa học đã nỗ lực đưa ra các phương pháp đánh giá TEC tầng điện ly: Wilson et al. [92] sử dụng số liệu từ mạng lưới máy thu GPS trên toàn cầu để mô hình hóa TEC thẳng đứng bằng hàm điều hòa cầu; Sardon et al. [78] sử dụng phương pháp lọc Kalman để nhận được đáng giá chính xác về độ trễ thiết bị và TEC; Liu et al. [58] cung cấp một phương pháp rút ra giá trị TEC từ tổ hợp phép đo hiệu giá khoảng cách và pha của máy thu GPS hai tần số, cho kết quả TEC có độ chính xác cao...

Cộng đồng khoa học quốc tế đã cố gắng đưa ra các tiêu chuẩn quốc tế về thu thập và xử lý số liệu GPS, và đến tháng 1/1994, dịch vụ GPS quốc tế (IGS) đã được thành lập và chính thức đi vào hoạt động. Trong đó một nhóm gồm 5 trung tâm phân tích về tầng điện ly của IGS (CODE, ESA, JPL, EMR và UPC) được thành lập và bắt đầu hoạt động từ tháng 5/1998, chủ yếu cung cấp các bản đồ điện ly toàn cầu hàng ngày với khoảng cách thời gian 2 giờ (Global Ionospheric Mapping - GIM) và các thông tin về độ trễ phần cứng máy thu và vệ tinh (Differential Code Biases -

DCBs) dựa trên số liệu các trạm thu GPS hai tần số trên toàn cầu [79]. Các bản đồ phân bố TEC, độ trễ gây bởi phần cứng của vệ tinh (Satellite bias) và máy thu (Receiver bias) được thông báo hàng ngày trong mô hình TEC toàn cầu và có thể tải xuống từ website: <http://www.aiub.unibe.ch/>.

Komjathy et al. [52] đã giới thiệu công nghệ của Phòng thí nghiệm Phản lực (Jet Propulsion Laboratory – JPL) tự động xử lý số liệu cho hơn 1000 trạm thu GPS nghiên cứu hiệu ứng bão điện ly, dựa vào mô hình điện ly toàn cầu GIM để đánh giá độ trễ máy thu. Tiếp theo đó Rideout et al. [75] giới thiệu một phần mềm tự động xử lý số liệu GPS MIT để cho ra bản đồ TEC toàn cầu (MAPGPS). Hiện nay các bản đồ điện ly ở phạm vi toàn cầu cung cấp thời gian thực chính xác hóa độ trễ điện ly cho hệ thống định vị dẫn đường của Cơ quan Hàng không và Không gian quốc gia, Hoa Kỳ (National Aeronautics and Space Administration - NASA) được cung cấp hàng ngày trên website với khoảng cách thời gian là 5 phút.



Hình 1.1, Bản đồ TEC toàn cầu ([NASA JPL Home California Institute of Technology](http://www.nasa.gov/jpl/home/california_institute_of_technology)).

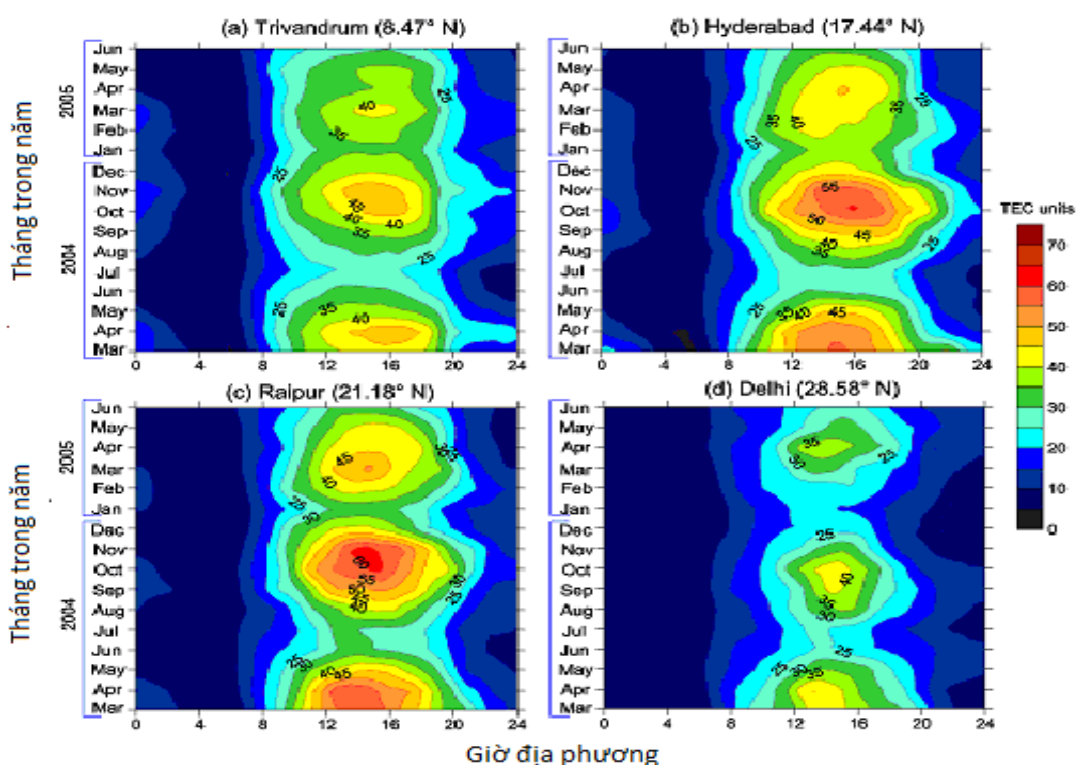
Từ những kết quả đó đã có hàng loạt các công trình nghiên cứu về nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly ở những phạm vi khác nhau sử dụng các máy thu GPS toàn cầu hay khu vực được các nhà khoa học trên thế giới công bố như: các bản đồ TEC ở phạm vi toàn cầu [62, 79]. Ở phạm vi quốc gia, Otsuka et al. [68] và Ma and Maruyama [61] giới thiệu một phương pháp mới xây dựng bản đồ TEC hai chiều khi sử dụng mạng lưới GEONET (GPS Earth Observation Network) với hơn 1000

máy thu GPS ở Nhật Bản. Để đánh giá hiệu quả của các mô hình điện ly, Orús et al. [67] đã so sánh TEC thu được từ số liệu vệ tinh TOPEX có độ chính xác cao và TEC thu được từ các mô hình điện ly khác nhau, với mục đích cung cấp một hiệu chỉnh chính xác về tầng điện ly, kết quả cho thấy TEC thu được từ mô hình GIMs của NASA là phù hợp tốt nhất với số liệu TEC từ vệ tinh TOPEX trong phạm vi sai số dưới 30%, tiếp đến là mô hình lý thuyết IRI với sai số là 41% và kém nhất khi sử dụng mô hình Broadcast GPS của Châu Âu với sai số là 54%. Hiện nay một số nước phát triển đã tự xây dựng các bản đồ TEC ở phạm vi quốc gia có độ chính xác cao để phục vụ cho mục đích phát triển truyền thông quốc gia, ví dụ Nhật Bản cung cấp các bản đồ điện ly phạm vi quốc gia trên trang web http://wdc.nict.go.jp/IONO/contents/E011_TECmap.html , hay Trung tâm Dịch vụ khí hậu không gian và truyền sóng của Úc cũng cung cấp thông tin về TEC phạm vi toàn cầu và quốc gia cho khu vực này trên trang web <http://www.ips.gov.au/Satellite/2/1>.

Như đã biết hệ thống mạng lưới các trạm thu GPS nằm rải rác trên toàn cầu nhưng chủ yếu tập trung trong vùng vĩ độ cao và vĩ độ trung bình. Cho đến nay đã có rất nhiều kết quả nghiên cứu toàn diện và chi tiết cho hai vùng vĩ độ trên được công bố nên các thông tin thu được về tầng điện ly trong vùng vĩ độ cao và trung bình là tương đối chi tiết và đầy đủ [32, 47, 62, 79, 83]. Trong khi đó các trạm thu GPS được đặt trong vùng xích đạo lại rất thưa thớt cộng với những đặc thù phức tạp và khác biệt của tầng điện ly vùng xích đạo gây bởi hiệu ứng vòi phun, sự hình thành các bọng plasma... thì nghiên cứu tầng điện ly xích đạo và ảnh hưởng của nó lên quá trình truyền tín hiệu vệ tinh đang là một chủ đề quan tâm của nhiều tác giả trên thế giới. Vladimer et al. [88] đã nói rằng rất khó có thể cung cấp dự báo chính xác TEC tại vùng vĩ độ thấp do các biến thiên mạnh về thời gian của tầng điện ly vùng xích đạo. Nhiều nghiên cứu cho thấy các mô hình điện ly hiện nay chưa phản ánh hết được các đặc trưng của tầng điện ly trong vùng xích đạo. Bhuyan et al. [30] sử dụng mạng lưới GPS ở khu vực Ấn Độ để nghiên cứu biến thiên TEC tại đây. Các giá trị TEC thu được so sánh với TEC rút ra từ mô hình điện ly chuẩn quốc tế (International Reference Ionosphere - IRI), cho thấy các giá trị TEC rút ra từ mô

hình IRI thường lớn hơn TEC đo đạc ở hầu hết các thời điểm. Gần đây, Ouattara et al. [69] đã so sánh giữa giá trị TEC quan sát được từ một trạm Koudougou ($12^{\circ}15'N$, $-2^{\circ}20'E$) gần xích đạo và TEC thu được từ mô hình TEC toàn cầu GIM, kết quả của ông cho thấy có sự sai lệch đáng kể giữa giá trị mô hình và quan sát trong vùng này.

Nghiên cứu biến thiên TEC trong vùng xích đạo sử dụng số liệu từ một hay nhiều trạm thu GPS đã được tiến hành bởi nhiều tác giả: Breed et al. [32] sử dụng số liệu GPS thu được từ trạm Salisbury ở Nam Úc nghiên cứu biến thiên ngày đêm, biến thiên theo mùa và theo vĩ độ của TEC ở khu vực quan tâm; Sử dụng mạng lưới gồm 18 máy thu GPS ở khu vực Ấn Độ bao phủ một dải vĩ độ từ $1^{\circ}S$ tới $24^{\circ}N$ để nghiên cứu biến thiên theo thời gian trong ngày, theo mùa, theo năm và theo mức độ hoạt động mặt trời của TEC [30, 36, 74]. Các kết quả nghiên cứu tại đây cho thấy TEC đạt giá trị cực tiểu vào khoảng 05hLT và cực đại trong khoảng từ 13h đến 14hLT, và một sự biến thiên theo mùa rõ rệt, biên độ biến thiên TEC phụ thuộc chủ yếu vào vị trí trạm quan sát tương ứng với xích đạo từ [30].



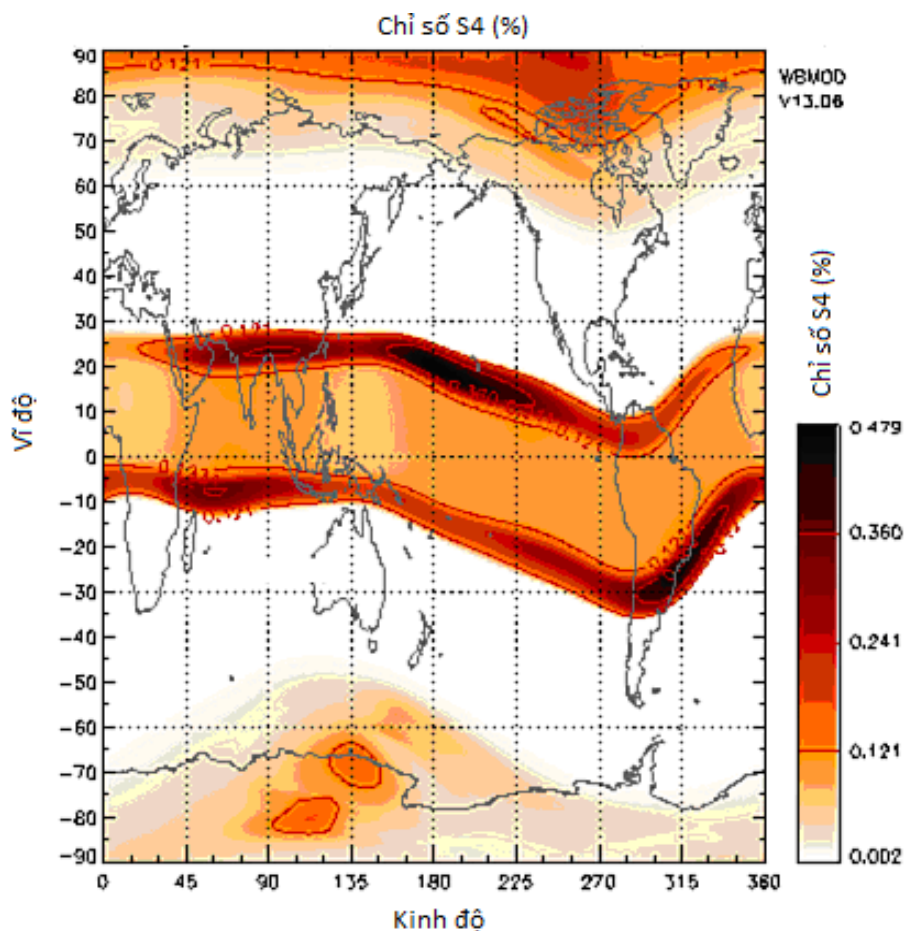
Hình 1.2, Biến thiên theo mùa và theo thời gian của giá trị TEC trung bình tháng tại một số trạm ở Ấn Độ (Rama Rao et al.[74]).

Nghiên cứu biến đổi của TEC trong vùng đỉnh dị thường điện ly xích đạo, Tsai et al. [83] chỉ ra biến thiên theo mùa của TEC trong vùng dị thường xích đạo Châu Á khi sử dụng số liệu từ hai trạm thu tín hiệu GPS đặt ở hai vùng đỉnh dị thường phía Bắc và phía Nam bán cầu cho một năm số liệu 1997, kết quả cho thấy giá trị TEC của hai đỉnh dị thường đạt cực đại vào những tháng phân điểm nhưng dị thường mùa đông không xuất hiện ở phía Nam bán cầu, thời gian đỉnh dị thường đạt giá trị cực đại thường sớm hơn về mùa đông và muộn hơn về mùa hè, vị trí đỉnh dị thường dịch chuyển về phía xích đạo vào mùa đông và dịch chuyển về phía cực vào những tháng mùa hè và phân điểm. Tsai và các cộng sự cũng đưa ra luận điểm để giải thích hiện tượng này bằng cách kết hợp giữa lý thuyết gió trung hòa thổi qua xích đạo, vị trí điểm gần Mặt Trời trên Trái Đất và gió vùng cực thổi về phía xích đạo. Rama Rao et al. [74] nghiên cứu biến thiên đỉnh dị thường phía Nam bán cầu trong vùng Ấn Độ, kết quả nghiên cứu cho thấy đỉnh dị thường điện ly xích đạo tại đây đạt giá trị cực đại trong khoảng thời gian từ 13h đến 16h LT và nằm trong khoảng vĩ độ địa lý 15°N đến 25°N . Tác giả chỉ ra vị trí xuất hiện và cường độ của đỉnh dị thường phụ thuộc chủ yếu vào độ lớn của dòng điện xích đạo, vị trí đỉnh dị thường nằm càng xa xích đạo từ khi cường độ dòng điện xích đạo càng tăng.

Các nghiên cứu về hiệu ứng bão điện ly và các biến đổi của dị thường điện ly xích đạo trong ngày bão từ cũng được nhiều tác giả đặc biệt chú ý [57, 59, 60, 96]. Liu et al. [59] sử dụng 9 máy thu đặt tại Đài Loan và một số máy thu lân cận để nghiên cứu hiệu ứng của đỉnh dị thường điện ly trong ngày bão từ. Ông tìm thấy rằng ngay sau khi bão từ bắt đầu bắt ngờ xuất hiện thì cường độ đỉnh dị thường điện ly xích đạo tại đây gia tăng và dịch chuyển về phía cực, vào một ngày sau khi bão từ kết thúc thì cường độ đỉnh dị thường bị suy giảm đáng kể và dịch chuyển một chút về phía xích đạo. Các nghiên cứu cho thấy thường có hai loại bão điện ly dương và âm xuất hiện khi có bão từ xảy ra. Bản chất của bão điện ly (bão dương hay âm) phụ thuộc vào thời gian địa phương, vào mùa và vĩ độ. Tại các vĩ độ thấp và trung bình, bão từ xuất hiện với pha chính vào thời gian ban đêm ở hầu hết các mùa trong năm thường gây ra bão điện ly âm, những trận bão từ có pha chính xuất hiện vào thời gian ngày vào mùa đông và tháng phân điểm thường gây ra bão điện

ly dương và nếu vào mùa hè thì gây ra bão điện ly dương và kèm theo cả bão điện ly âm [57]. Độ trễ thời gian giữa nhiễu loạn từ và các phản ứng xảy ra trong tầng điện ly phụ thuộc vào mùa, vào thời gian địa phương và vào vĩ độ [60].

Các nghiên cứu trước đây về hiện tượng nhấp nháy điện ly đã chỉ ra rằng nhấp nháy thường biểu hiện rất mạnh ở vùng xích đạo từ và vùng cực [14, 94].



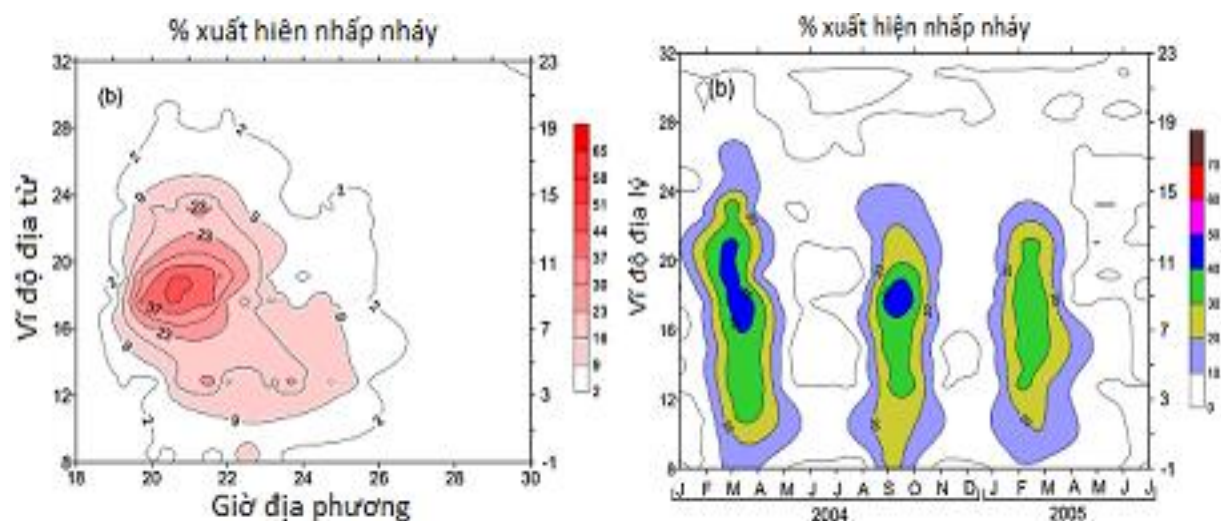
Hình 1.3, Bản đồ phân bố nhấp nháy điện ly toàn cầu tại 23hLT theo mô hình dự báo WBMOD (<http://www.ips.gov.au>).

Khi ngành công nghệ vũ trụ phát triển thì nhấp nháy điện ly liên quan đến các nhiễu loạn điện ly trở thành chủ đề chính cần xem xét trong lĩnh vực nghiên cứu về ảnh hưởng thời tiết không gian lên hệ thống truyền thông, đặc biệt là tầng điện ly xích đạo và vùng vĩ độ thấp. Basu et al. [25] đã phát biểu rằng dự báo nhấp nháy điện ly trong vùng xích đạo vẫn còn là vấn đề thách thức. Đã có nhiều kết quả nghiên cứu về đặc trưng tầng điện ly vùng vĩ độ thấp và sự xuất hiện các nhấp nháy điện ly khu vực châu Mỹ. Basu et al. [23] sử dụng số liệu quan trắc tại Peru, Chile

để nghiên cứu hiệu ứng nhấp nháy điện ly, tốc độ trôi dạt plasma và gió trung hòa trong tầng điện ly xích đạo sau khi Mặt Trời lặn. Aarons et al. [15] và Chu et al. [38] sử dụng một loạt các trạm đặt dọc theo vùng kinh tuyến châu Mỹ để nghiên cứu dao động pha tín hiệu GPS trong vùng xích đạo vào năm Mặt Trời hoạt động cực tiểu, kết quả cho thấy có sự xuất hiện các mảng nhiễu loạn dạng lông vũ (plumes) tại các độ cao lớn gần đỉnh dị thường điện ly. Beach et al. [26], sử dụng số liệu quan sát tại Ancon, Peru để chỉ ra mối liên hệ giữa nhấp nháy điện ly và giao động pha GPS tại đây dao động trong khoảng từ 0,2 đến 0,5. Basu et. al. [24] sử dụng số liệu vệ tinh tại đảo Ascension nghiên cứu nhấp nháy điện ly và dao động pha, đã đi đến kết luận rằng khó có thể đánh giá định lượng biên độ nhấp nháy từ chỉ số dao động pha do có sự tồn tại đồng thời các nhiễu loạn quy mô lớn và nhỏ trong tầng điện ly vùng xích đạo vào giai đoạn trước nửa đêm, vào giai đoạn sau nửa đêm các nhiễu loạn có kích thước Fresnel suy giảm mạnh do có sự gia tăng khuếch tán do vậy chỉ còn các nhiễu loạn quy mô lớn gây ra dao động pha mà không gây ra nhấp nháy biên độ. Anderson et al. [18] và Chen et al. [37] sử dụng số liệu thống kê nhấp nháy quan sát được tại Ancon, Peru, Chile để dự báo hoạt động nhấp nháy điện ly vùng xích đạo, kết hợp số liệu GPS và số liệu thăm dò thẳng đứng chỉ ra mối liên hệ giữa sự xuất hiện Spread F và dao động pha. Valladares et al. [86, 87] chỉ ra bức tranh xuất hiện nhấp nháy điện ly cho vùng kinh tuyến Nam Mỹ khi sử dụng một loạt các máy thu GPS đặt dọc theo kinh tuyến hai bên xích đạo từ, nghiên cứu một lần nữa cho thấy hiện tượng suy giảm TEC và sự xuất hiện plumes xảy ra đồng thời với các mức nhấp nháy xuất hiện trên tín hiệu GPS, đỉnh dị thường điện ly xích đạo là nơi có sự tập trung nhấp nháy xuất hiện và có sự suy giảm TEC mạnh nhất.

Nghiên cứu sự xuất hiện nhấp nháy trong vùng Ấn Độ đã được bắt đầu [21, 35, 73]. Rama Rao et al. [73], đã giới thiệu bức tranh xuất hiện nhấp nháy cho vùng Ấn Độ khi sử dụng mạng lưới quan trắc trong vùng, kết quả cho thấy nhấp nháy xuất hiện chủ yếu vào khoảng thời gian sau khi Mặt Trời lặn đến trước nửa đêm và ít xuất hiện vào thời điểm sau nửa đêm, nhấp nháy chủ yếu xuất hiện trong những tháng phân điểm. Nghiên cứu tại đây cũng chỉ ra nhấp nháy hoạt động mạnh nhất

xung quanh vùng đỉnh dị thường (15° đến 25° N) và các nhấp nháy thường kèm theo sự suy giảm về TEC trong vùng này.



Hình 1.4, Thống kê nhấp nháy theo thời gian, vĩ độ và theo mùa tại Ấn Độ (Rama Rao et al.[73]).

Ở khu vực Đông Nam Á Thomas et al. [81] sử dụng mạng lưới máy thu dọc theo vùng kinh tuyến từ châu Á đến châu Úc để chỉ ra hoạt động nhấp nháy điện ly trong những năm Mặt Trời hoạt động mạnh (2000-2002), các kết quả này còn được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình nhấp nháy điện ly toàn cầu WBMOD (WideBand MODel). Cervera et al. [34] sử dụng quan sát nhấp nháy GPS trong vùng kinh tuyến Đông Nam Á để nghiên cứu các biến thiên theo vĩ độ và thời gian của nhiễu loạn điện ly xích đạo. Saito et al. [77] dùng số liệu vệ tinh GPS tại Trung Quốc và Việt Nam kết hợp với số liệu thăm dò thẳng đứng tại Nhật Bản và Úc để nghiên cứu nhiễu loạn điện ly liên quan tới bọng plasma gây ra nhấp nháy điện ly trong vùng này. Gần đây Abadi et al. [16] lần đầu tiên công bố kết quả nghiên cứu sự xuất hiện nhấp nháy xung quanh đỉnh dị thường điện ly xích đạo vùng Indonesia, kết quả cũng chỉ ra sự biến thiên theo thời gian, theo mùa và theo hoạt động Mặt Trời của sự xuất hiện nhấp nháy điện ly tại đây... Kết hợp với việc quan sát và thống kê các hiện tượng thì các nghiên cứu hiện nay tập trung vào việc tìm ra cơ chế, các dấu hiệu hình thành nhiễu loạn gây ra nhấp nháy điện ly trong vùng xích đạo như spread F, bọng plasma, sóng trọng lực khí quyển [65, 74, 85] tiến tới xây dựng mô hình dự báo nhấp nháy điện ly chính xác cho vùng này.

Nhiều tác giả đi vào đánh giá ảnh hưởng của nhấp nháy lên quá trình truyền tín hiệu GPS khi khảo sát dao động pha tín hiệu GPS trong vùng xích đạo cho một số trận bão từ sử dụng số liệu các máy thu GPS toàn cầu [34, 73, 74, 80]; ứng dụng công nghệ GPS để nghiên cứu bức tranh nhiễu loạn điện ly cho vùng xích đạo [15, 38, 84]. Các nghiên cứu thống kê về ảnh hưởng của bão từ lên khả năng xuất hiện nhấp nháy vùng xích đạo và vùng vĩ độ thấp cũng đã được tiến hành [17, 54, 93], kết quả cho thấy tác động của bão từ có thể làm gia tăng cường độ xuất hiện nhấp nháy hoặc làm suy giảm sự phát triển của bọng plasma gây ra nhấp nháy trong vùng vĩ độ thấp phụ thuộc vào thời điểm thâm nhập trong ngày của bão.

Hiện nay chương trình thời tiết không gian của Mỹ coi các nhấp nháy điện ly như là một thành phần quan trọng, chương trình đòi hỏi các hệ thống có khả năng theo dõi, tính toán và dự báo các ảnh hưởng của Mặt Trời lên môi trường không gian Trái Đất, kể cả hoạt động có tính toàn cầu của các bất thường và nhấp nháy điện ly, và thực tế mạng lưới quan trắc hiện tượng nhấp nháy đang phát triển và được sự hưởng ứng của nhiều tổ chức nghiên cứu khoa học trên thế giới. Có hai mô hình dự báo nhấp nháy điện ly toàn cầu thông dụng nhất đó là WBMOD (WideBand MODel) của Mỹ và mô hình GISM (Global Ionospheric Scintillation Model) của Châu Âu. Fort et al. [44], đã so sánh số liệu nhấp nháy rút ra từ hai mô hình GISM và WBMOD với số liệu quan sát tại Tucuman (Argentina), một trạm nằm gần đỉnh dị thường điện ly xích đạo để phục vụ cho ứng dụng định vị dẫn đường bằng vệ tinh. Mục đích của họ là kiểm tra xem liệu mô hình dự báo nhấp nháy điện ly toàn cầu hiện nay có thể dự báo được hoạt động nhấp nháy thực tế tại đây hay không, và liệu có thể sử dụng mô hình này để đánh giá ảnh hưởng của nhấp nháy lên hệ thống dẫn đường hay không? Kết quả nghiên cứu của họ cho thấy, mô hình dự báo không đúng cả về thời gian lẫn vị trí xuất hiện nhấp nháy trên đường truyền tín hiệu GPS. Khi các tác giả so sánh với số liệu quan sát trong một ngày đơn lẻ, mô hình cũng cho thấy một sự thiếu chính xác trong lời giải chi tiết và đi đến kết luận rằng các mô hình nhấp nháy điện ly còn nhiều hạn chế khi ứng dụng dự báo cho trường hợp tín hiệu vệ tinh GPS.

Từ 2004 đến nay, cơ quan IEEA (Informatique, Electromagnétisme, Electronique, Analyse numérique) đã thực hiện một chiến dịch đo đạc có tên PRIS (Prediction Ionospheric Scintillation) với mục đích thu thập số liệu nhấp nháy để cải tiến mô hình dự báo nhấp nháy điện ly GISM. Hệ thống máy thu được đặt tại hai vùng vĩ độ cao và vĩ độ thấp để thăm dò nồng độ điện tử tổng cộng và nhấp nháy điện ly như được chỉ ra trên *hình 1.5*. Việt Nam cũng là một quốc gia được hưởng lợi từ dự án này khi có ba máy thu được đặt tại đây. Các kết quả thu được sẽ là nguồn tài liệu quan trọng để tiến tới xây dựng các mô hình dự báo nhấp nháy điện ly có độ chính xác cao phục vụ cho mục đích định vị dẫn đường bằng vệ tinh.



Hình 1.5, Vị trí các máy thu đặt trong vùng xích đạo của dự án PRIS.

1.2 Tình hình nghiên cứu trong nước:

Các nghiên cứu điện ly ở nước ta đã được tiến hành từ những năm trước, dựa trên cơ sở số liệu thăm dò thẳng đứng thu được từ Đài điện ly Phú Thụy - Hà Nội, trạm Nha Trang, Đài xích đạo từ Bạc Liêu và Đài quan trắc khí quyển Học Môn - TP Hồ Chí Minh.

Phạm Văn Trì và nnk. [13] đã khảo sát biến thiên các thông số điện ly phục vụ dự báo truyền sóng, giới thiệu một số đặc trưng biến thiên tại đài điện ly Phú Thụy; Nghiên cứu những vấn đề vật lý trong tầng điện ly cũng được bắt đầu: Lê Huy Minh và Phạm Văn Trì [8] sử dụng số liệu thăm dò thẳng đứng từ năm 1962 đến 2000 để chỉ ra biến thiên theo thời gian của lớp E và lớp F tại Phú Thụy; nghiên

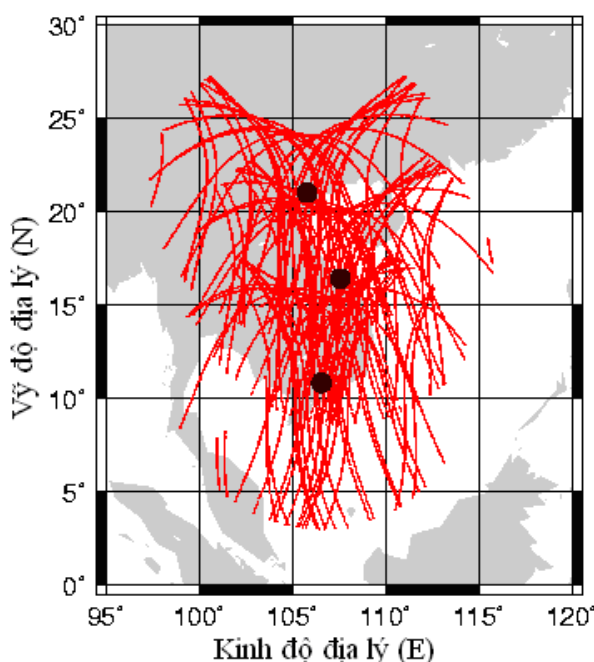
cứu về đặc điểm và cấu trúc các lớp điện ly khu vực phía nam khi sử dụng số liệu quan sát tại trạm Nha Trang [2]; khảo sát các thông số điện ly tại Phú Thụy, Bạc Liêu và mối liên hệ với hoạt động mặt trời trong nhiều năm quan sát số liệu [1, 5, 19, 49].

Các kết quả nghiên cứu cho thấy đáng điều biến thiên ngày đêm của các tham số giữa các lớp rất khác nhau và có sự phụ thuộc khác nhau vào quá trình quang ion hóa, hoạt tính mặt trời... : Biến thiên ngày đêm của tần số tới hạn lớp F2 đạt giá trị cực tiểu vào khoảng 5hLT và một giá trị cực đại vào khoảng 14hLT tại Phú Thụy, đạt hai giá trị cực đại vào khoảng 9h và 17hLT tại các trạm phía Nam (Nha Trang, Bạc Liêu); Biến thiên chu kỳ dài của các tần số tới hạn có xu thế chung phù hợp với chu kỳ 11 năm của hoạt động mặt trời, trong khi đó các chiều cao biểu kiến của các lớp điện ly hầu như không phản ánh quy luật 11 năm theo hoạt động mặt trời.

Nghiên cứu hiệu ứng bão từ và bão điện ly khu vực xích đạo sử dụng số liệu thăm dò thẳng đứng tại Phú Thụy và Hóc Môn được tiến hành [9, 55], kết quả cho thấy bão từ có sự ảnh hưởng mạnh tới lớp F của tầng điện ly và ít có ảnh hưởng ở độ cao lớp E, chiều cao biểu kiến lớp F thường tăng lên trong pha chính của bão, nồng độ điện tử trong tầng điện ly biến đổi phức tạp trong thời gian bão từ. Thời gian gần đây, một số kết quả nghiên cứu về đặc trưng xuất hiện spread F khu vực xích đạo Việt Nam cũng được công bố khi nghiên cứu đặc trưng xuất hiện spread F quan sát được tại Đài điện ly Hóc Môn – TP Hồ Chí Minh [3, 4]; So sánh sự xuất hiện spread F giữa hai vùng kinh tuyến Việt Nam và Brasil [56]. Kết quả quan sát cho thấy đặc trưng xuất hiện spread F tại trạm Hóc Môn chủ yếu xuất hiện vào thời điểm trước nửa đêm, sự xuất hiện spread F khác nhau đáng kể tại hai kinh tuyến Brasil và kinh tuyến Việt Nam về cả thời gian và tần suất xuất hiện. Hiện nay những hiểu biết về biến thiên ngày đêm, cơ chế hình thành spread F trong vùng xích đạo vẫn còn là chủ đề nghiên cứu và tìm hiểu trong lĩnh vực nghiên cứu khí hậu không gian [85].

Từ năm 2005, hưởng ứng chương trình hợp tác nghiên cứu khoa học quốc tế của Hội Địa từ và Cao không quốc tế (Climate and Weather Sun-Earth System -

CAWSES), trong khuôn khổ hợp tác quốc tế giữa Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam và một số cơ quan nghiên cứu thuộc Trung tâm Nghiên cứu Khoa học Quốc gia Pháp, 3 trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS được đặt tại Hà Nội (Đài Điện ly Phú Thụy), Huế (Trường Đại học Khoa học) và thành phố Hồ Chí Minh (Đài Quan trắc khí quyển Hóc Môn) đã được lắp đặt. Việc đặt ba trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS liên tục đã mở ra một hướng nghiên cứu mới góp phần thúc đẩy và phát triển nghiên cứu vật lý địa cầu trong nước và trong khu vực.



Hình 1.6, Vị trí ba máy thu GPS tại Việt Nam và vết vệ tinh quan sát tại độ cao 400 km trên tầng điện ly.

Việc xây dựng thuật toán tính toán nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly từ số liệu GPS được tìm hiểu lần đầu tiên tại Việt Nam [10, 12]. Sử dụng số liệu các trạm GPS này cùng với các trạm GPS khác trong khu vực để nghiên cứu sự biến thiên nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly khu vực dị thường điện ly xích đạo ở Việt Nam và khu vực Đông Nam Á được bắt đầu [11]. Các nghiên cứu này cho thấy rằng Việt Nam nằm ở vùng dị thường điện ly xích đạo, khu vực miền Bắc nằm ở vùng đỉnh của dị thường, khu vực ở phía cực Nam lãnh thổ nằm ở vùng đáy dị thường.

Ứng dụng công nghệ GPS để nghiên cứu tầng điện ly được các nhà khoa học trên thế giới tiến hành khai thác từ nhiều năm trước và đã có một lượng lớn các

công trình nghiên cứu được công bố để chỉ ra các đặc trưng cho từng vùng nghiên cứu. Tuy nhiên, đặc điểm của tầng điện ly là mang tính đặc thù địa phương rõ rệt, đặc biệt là tầng điện ly vùng xích đạo, trong khi Việt Nam vẫn còn là vùng thiếu vắng thông tin trên bản đồ điện ly thế giới hiện nay. Sử dụng công nghệ GPS để nghiên cứu tầng điện ly ở Việt Nam cũng mới bắt đầu được tiến hành trong những năm gần đây và còn khá mới mẻ. Việc lắp đặt ba trạm thu GPS trải đều ở ba miền Bắc-Trung-Nam là một thuận lợi trong nghiên cứu tầng điện ly cho toàn khu vực Việt Nam. Để tiếp tục phát triển hướng nghiên cứu này, luận án được xây dựng với mục đích là sử dụng chuỗi số liệu từ ba máy thu tín hiệu vệ tinh GPS nghiên cứu tầng điện ly cho khu vực Việt Nam. Các kết quả của luận án sẽ là nguồn tài liệu quan trọng để tiến tới xây dựng mô hình dự báo điện ly, nhấp nháy điện ly cho khu vực Việt Nam trong tương lai.

CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ TẦNG ĐIỆN LY VÀ HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU

2.1 Tầng điện ly của Trái Đất

Phần này sẽ giới thiệu tổng quan về tầng điện ly của Trái Đất: các lớp điện ly, lý thuyết hình thành và vai trò của tầng điện ly trong quá trình truyền sóng. Yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến sự hình thành và biến động trong tầng điện ly đó là hoạt tính mặt trời. Đặc biệt giới thiệu chi tiết những đặc điểm tầng điện ly vùng xích đạo để phục vụ cho mục đích nghiên cứu của luận án.

2.1.1 Tầng điện ly và các lớp

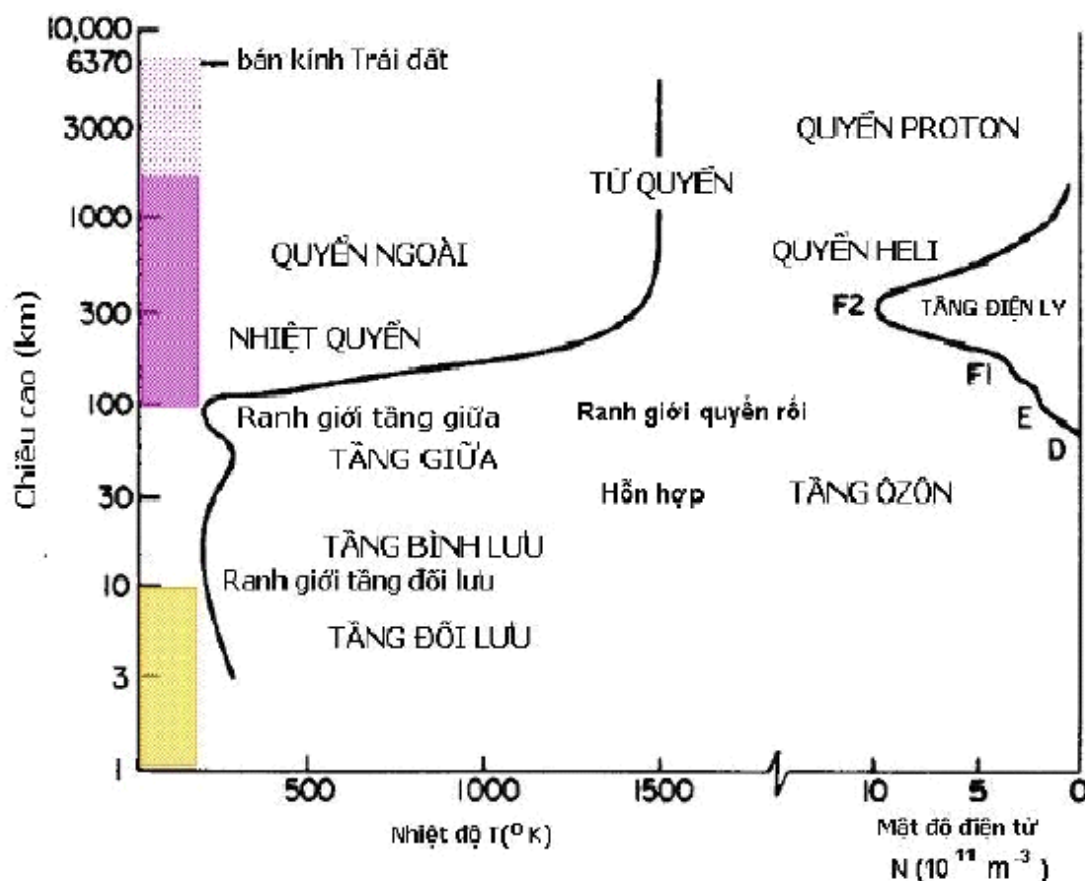
Tầng điện ly là một vùng khí quyển của Trái Đất được hình thành và tồn tại dưới tác dụng của bức xạ mặt trời và nhiều quá trình vật lý khác. Quá trình ion hóa trong tầng điện ly làm cho tầng điện ly có nồng độ điện tử và các ion đủ lớn có thể ảnh hưởng tới sự truyền sóng radio. Tầng điện ly nằm ở khoảng độ cao từ 50 km tới 1000 km hoặc hơn so với mặt đất (*hình 2.1*), nó có thể được xem như nằm giữa tầng khí quyển trung hòa và tầng khí quyển ion hóa hoàn toàn của Trái Đất do bức xạ mặt trời. Mức độ ion hoá trong tầng điện ly phụ thuộc vào 3 yếu tố cơ bản sau:

- Năng lượng bức xạ ion hoá của Mặt Trời.
- Hệ số hấp thụ năng lượng này của các thành phần khí trong tầng điện ly.
- Mật độ khí quyển.

Đến một độ cao nào đó mà sự ion hoá hoà hợp được 3 yếu tố trên thì đạt được mức độ ion hoá lớn nhất, quá trình đó dẫn đến giá trị cực đại của mật độ điện tử theo chiều cao. Do trong tầng điện ly có nhiều loại phân tử khác nhau nên có nhiều cực trị mật độ điện tử, dựa vào đó người ta đã phân tầng điện ly thành bốn lớp: lớp D , lớp E , lớp F_1 và lớp F_2 như được chỉ ra trên *hình 2.1*. Đặc trưng cho mỗi lớp là các tham số như:

- + độ cao của lớp: h
- + chiều dày lớp: y
- + mật độ điện tử cực đại: N_e

Các tham số này đều phụ thuộc mạnh vào các yếu tố như: thời gian trong ngày, mùa trong năm, mức độ hoạt động của Mặt Trời và vị trí địa lý của trạm quan sát.



Hình 2.1, Sơ đồ tầng khí quyển và các lớp điện ly của Trái Đất (H. Rishbeth and O. K. Garriott, [76]).

Lớp D

Lớp D là lớp thấp nhất của tầng điện ly, nằm trong khoảng độ cao từ 60 đến 90 km. Nguồn ion hoá lớp D là bức xạ vạch Lyman alpha ($Ly \alpha$), đối tượng ion hoá là phân tử NO tạo ra NO^+ . Lớp này có hiệu ứng âm lên các sóng radio do nó chỉ hấp thụ năng lượng sóng radio, đặc biệt với các tần số thấp hơn 7MHz. Lớp D xuất hiện ngay sau khi Mặt Trời mọc và biến mất khi Mặt Trời lặn. Giá trị ion hoá cực đại của lớp D đạt được khi góc thiên đỉnh của Mặt Trời bằng 0° . Quá trình tái hợp xảy ra rất mạnh ở lớp D, hiệu ứng ion hóa thực là thấp, nhưng sự mất mát năng lượng sóng chủ yếu gây bởi các va chạm thường xuyên của các điện tử. Kết quả là sóng radio tần số cao (HF) không bị phản xạ bởi lớp D nhưng chịu sự mất mát năng lượng trong lớp này. Người ta thấy rằng lớp D chủ yếu bị chi phối bởi năng lượng bức xạ của Mặt Trời, có ba loại hấp thụ liên quan đến bùng nổ Mặt Trời trong lớp D:

+ *SID* (*Sudden Ionospheric Disturbance*)- nhiễu loạn điện ly bất ngờ, hấp thụ *SID* diễn ra trong khoảng 30 phút đến 1 giờ vào thời gian ban ngày. Hiện tượng này làm cho nồng độ điện tử trong vùng *D* tăng lên gây ra hiện tượng hấp thụ mạnh các tín hiệu vô tuyến điện.

+ Loại hấp thụ xuất hiện ban đêm liên quan đến hiện tượng cực quang và nhiễu loạn từ trong lớp *D* vùng cực.

+ Loại *PCA* (*Polar Cap Absorption*) liên quan đến các hạt năng lượng cao xuyên vào lớp *D* do bùng nổ sắc cầu trên đĩa mặt trời gây ra.

Mật độ điện tử cực đại của lớp *D* không đo được bằng máy thăm dò thẳng đứng mà thu được từ kết quả thăm dò bằng tên lửa: $N_{max} \approx 10^3 \text{ e/cm}^3$ và đạt được ở độ cao khoảng 80 km. Hầu hết thông tin về biến thiên theo độ cao của nồng độ điện tử và tần số va chạm trong lớp *D* của tầng điện ly thu được một cách gián tiếp từ các nghiên cứu truyền sóng, các thông tin bổ xung thu được từ các tài liệu đo đạc bằng tên lửa [46, 76].

Lớp E

Lớp *E* là lớp điện ly nằm ngay phía trên của lớp *D* ở độ cao khoảng từ 90 đến 150 km. Lớp *E* được hình thành bởi bức xạ ion hoá của Mặt Trời, chủ yếu là bức xạ Rongen. Lớp này chỉ có thể hấp thụ sóng radio có các tần số nhỏ hơn 5 MHz. Lớp *E* xuất hiện ngay sau khi Mặt Trời mọc và biến mất sau khi Mặt Trời lặn vài giờ. Thực tế vẫn tồn tại lớp *E* ban đêm và thường gọi là lớp *E*₂, nhưng vì về đêm mật độ điện tử trong vùng *E* rất thấp nên không thể đo đạc được. Trong lớp *E* các ion chủ yếu là O_2^+ và NO^+ , trong đó NO^+ lớn hơn gấp 3 lần O_2^+ . Mật độ điện tử của lớp *E* phụ thuộc vào các yếu tố như: thời gian trong ngày, mùa trong năm, vị trí địa lý và sự hoạt động của Mặt Trời. Giá trị mật độ đạt cực đại vào giữa trưa với $N_{max} \approx 10^5 \text{ e/cm}^3$ vào thời kỳ mặt trời hoạt động yếu và $N_{max} \approx 1,5 \cdot 10^5 \text{ e/cm}^3$ vào thời kỳ mặt trời hoạt động mạnh.

Thăm dò điện ly thường phát hiện ra các lớp hoặc các mảng ion dày đặc trong lớp *E* ở các độ cao từ 90 km đến 120 km, dường như không liên quan tới lớp *E* ban ngày bình thường. Hiện tượng này được biết như là lớp *E* rời rạc hay lớp *Es* vì nó không có dáng vẻ đều đặn. Đôi khi *Es* xuất hiện như là các bản mỏng che

khuất lớp F bên trên. Ở các thời điểm khác, nó có thể dưới dạng loang lổ trong suốt từng phần đối với các sóng phản xạ từ các lớp cao hơn. Sự xuất hiện của E_s liên quan đến các dòng hạt năng lượng cao phát ra từ Mặt Trời xâm nhập vào khí quyển, liên quan đến nhiễu loạn điện từ trường, hiện tượng cực quang, chế độ gió trong lớp E và những chuyển động rối của khí quyển trong lớp E [46,76].

Lớp F

Lớp F là lớp cao nhất của tầng điện ly. Vào thời gian ban ngày, khi Mặt Trời chiếu sáng lên phần trên của khí quyển chứa lớp F gây ra sự phân tách lớp F thành hai lớp và được gọi là lớp F_1 và lớp F_2 . Khi Mặt Trời lặn, độ cao của lớp lúc này nằm trong khoảng từ 250 đến 500km. Lớp F có thể phản xạ các sóng radio có tần số tới 20 MHz và thậm chí tới 25 MHz. Các ion ở phần dưới của lớp F chủ yếu là NO^+ và phần trên là O^+ chiếm ưu thế.

Lớp F_1 là lớp trung gian giữa lớp E và lớp F_2 , nằm trong khoảng độ cao từ 150 đến 200 km, chỉ xuất hiện ban ngày khi có Mặt Trời chiếu sáng lên phần trên của khí quyển chứa lớp F . Phần dưới của lớp F_1 chủ yếu là các ion NO^+ và O^+ , càng lên cao thì ion O^+ chiếm ưu thế. Lớp F_1 phản xạ được các sóng radio có tần số đạt tới 10 MHz. Giá trị cực đại của mật độ điện tử lớp F_1 đạt được vào giữa trưa.

Lớp F_2 là lớp quan trọng nhất của tầng điện ly, rộng nhất và biến đổi phức tạp nhất. Lớp F_2 thường phân bố ở độ cao từ 200 km trở lên. Các phép đo bằng phổ kế khối lượng vệ tinh cho biết thành phần cơ bản của lớp F_2 là ion nguyên tử N^+ và O^+ , trong đó $O^+ \gg N^+$. Những đặc điểm của lớp F_2 và sự biến đổi của chúng rất phức tạp và có quan hệ mật thiết với các hoạt động xảy ra trên đĩa mặt trời. Những đặc điểm biến thiên này thường không phù hợp với kết luận trong lý thuyết hình thành điện ly, sự sai lệch giữa thực tế quan sát được và lý thuyết được gọi là dị thường lớp F_2 . Lớp F_2 có các dị thường sau: dị thường ngày đêm, dị thường địa lý, dị thường mùa và dị thường tháng 12. Lớp F_2 có thể phản xạ được các sóng radio có tần số đạt tới 50 MHz trong suốt một thời kỳ cực đại vết đen mặt trời và các tần số cực đại có thể đạt tới 70 MHz trong một số trường hợp đặc biệt.

Tầng điện ly thường được phân thành 3 vùng địa lý khác nhau dựa trên các đặc trưng, hình dáng và tính chất động học khác nhau của chúng. Tầng điện ly vùng

xích đạo và vĩ độ thấp (từ 0^0 đến $\pm 30^0$), tầng điện ly vùng vĩ độ trung bình (từ $\pm 30^0$ đến $\pm 50^0$) và tầng điện ly vùng vĩ độ cao (từ $\pm 50^0$ đến $\pm 90^0$) tính từ xích đạo từ ở hai bán cầu của Trái Đất. Giá trị cực đại của mật độ điện tử thường nằm trong vùng xích đạo của tầng điện ly, và thường vào đầu buổi chiều. Cũng có những vùng có nồng độ điện tử rất cao tại các vĩ độ từ trong khoảng $\pm 20^0$. Các cực đại của chúng được gọi là dị thường xích đạo. Tầng điện ly ở vùng vĩ độ trung bình ít biến đổi. Nó cũng được quan sát tốt nhất vì hầu hết các thiết bị thăm dò tầng điện ly đều tập trung ở vùng này. Ở các vùng vĩ độ cao và vùng cực quang, cực đại mật độ điện tử nhỏ hơn đáng kể so với vùng vĩ độ thấp. Tuy nhiên, vùng vĩ độ cao có rất nhiều hiện tượng bất ổn định plasma, nghĩa là các biến thiên thời gian ngắn của mật độ điện tử nói chung lớn hơn nhiều so với ở vùng vĩ độ thấp. Tại các chòm cực, ở đó góc thiên đỉnh của Mặt Trời gần như không đổi, biến thiên ngày đêm vẫn còn phát hiện được. Điều đó chỉ ra rằng có nhân tử khác ngoài bức xạ mặt trời cũng đóng một vai trò trong việc xác định mật độ điện tử trong tầng điện ly [46,76]..

2.1.2 Lý thuyết hình thành các lớp điện ly và phân bố điện tử thẳng đứng

2.1.2.1 Sự hình thành các lớp điện ly

Các quá trình quang hóa trong tầng điện ly có thể được phân ra thành hai loại: loại gây ra sự tạo thành hoặc sự mất mát ion và loại gây ra sự vận chuyển ion. Trong đó, quá trình chính để tạo ra các cặp ion-điện tử được cho là do sự quang ion hóa mặt trời và do các hạt tích điện có năng lượng cao thâm nhập vào trong tầng khí quyển. Các quá trình gây mất mát ion lớn có thể kể đến là: sự tái hợp ion-điện tử; sự gắn kết của điện tử với các nguyên tử khí trung hòa xảy ra trong lớp dưới của tầng điện ly. Vì thế, luôn tồn tại một trạng thái cân bằng động trong đó nồng độ điện tử tự do phụ thuộc vào tốc độ các quá trình sinh và mất của chính các điện tử này.

Để miêu tả các quá trình trên người ta xây dựng một phương trình liên tục mà các số hạng của nó biểu thị cho các hiệu ứng khác nhau làm thay đổi mật độ điện tử N như sau [76] :

$$[\text{Tốc độ thay đổi mật độ điện tử}] = [\text{Tốc độ sinh điện tử}] - [\text{Mất mát}]$$

- [Thay đổi do dịch chuyển]

Nếu quá trình vận chuyển gây ra một vận tốc trôi dạt thực \vec{V} , thì thay đổi do vận chuyển là đạo hàm của yếu tố thông lượng $N\vec{V}$. Dùng ký hiệu q và l để biểu thị quá trình sinh và mất ion một cách tương ứng, chúng ta có phương trình liên tục :

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - l(N) - \vec{\nabla} \cdot (N\vec{V}) \quad (2.1)$$

Trong tầng điện ly, ở độ cao dưới 200km, thì quá trình vận chuyển không lớn và nếu bỏ qua quá trình này thì ta thu được phương trình “quang hóa”. Trên độ cao 250km, vai trò của quá trình vận chuyển chiếm ưu thế và các số hạng quang hóa q và l là không đáng kể.

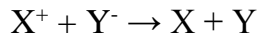
Quang ion hóa mặt trời: Bức xạ mặt trời đóng một vai trò quan trọng trong việc thành tạo tầng điện ly, quá trình ion hóa xảy ra trong tầng khí quyển của Trái Đất bởi một phổ rộng bức xạ tia X và bức xạ cực tím. Sự ion hóa, hay sự bứt các điện tử khỏi các nguyên tử và phân tử, chủ yếu gây bởi sự va chạm của bức xạ cực tím của Mặt Trời. Sự hấp thụ của ánh sáng cực tím tăng theo sự giảm của độ cao và theo sự tăng của mật độ các phân tử khí trung hoà một cách tương ứng. Quá trình ion hóa bắt đầu bằng các phản ứng quang phân (bức xạ mặt trời phân rã các phân tử khí trung hoà thành các nguyên tử), sau đó là phản ứng ion hóa (các phân tử trung hoà và nguyên tử bị ion hóa thành các ion và electron).

Ion hóa hạt: Sự quang ion hóa bởi bức xạ cực tím của Mặt Trời không phải là nguồn duy nhất tạo ra plasma trong tầng điện ly mà còn do các hạt tích điện có năng lượng cao thâm nhập vào trong tầng khí quyển. Độ sâu các hạt thâm nhập vào khí quyển phụ thuộc vào năng lượng của chúng. Sự ion hóa bởi va chạm của một hạt mang năng lượng với khí trung hoà là đặc biệt quan trọng ở những vùng vĩ độ cao. Ánh sáng nhìn thấy cũng được phát ra khi các hạt va chạm mạnh vào trong tầng khí quyển và tạo ra hiện tượng cực quang nhìn thấy.

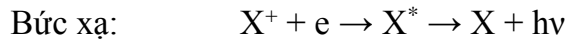
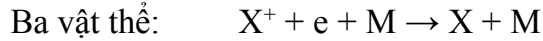
Các phản ứng mất mát ion: Khi được tạo thành, các ion và electron có xu hướng tái kết hợp và phản ứng với các phân tử khí khác để tiếp tục tạo ra các ion. Các kiểu

phản ứng quang hóa được cho là khống chế mật độ điện tử và gây ra sự mất mát ion luôn tồn tại đó là:

(a) Sự tái hợp ion-ion (hệ số tái hợp α_i):

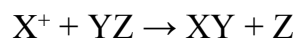


(b) Sự tái hợp điện tử-ion (hệ số tái hợp α_e):

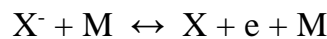


Các dấu (*) chỉ ra rằng các nguyên tử có thể nằm trong trạng thái kích thích, và sau đó bị mất mát năng lượng do bức xạ hoặc do va chạm với các hạt khác; X, Y là các phân tử, nguyên tử khí; M ký hiệu hạt trung hòa có trao đổi năng lượng và mômen động lượng nhưng không xảy ra phản ứng hóa học; e là các ion và $h\nu$ là năng lượng bức xạ. Quá trình ba vật thể có thể xảy ra trong vùng D, nhưng rất hiếm xảy ra ở độ cao lớn hơn. Sự tái hợp các điện tử-ion chỉ có thể xảy ra bởi quá trình bức xạ yếu. Tại vùng trên cùng của lớp F, các quá trình vận chuyển hoàn toàn chiếm ưu thế. Tại các độ cao trong vùng E và F, sự tái hợp phân ly là quá trình mất mát quan trọng nhất.

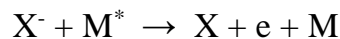
(c) Thay đổi ion-nguyên tử (hệ số tỷ lệ γ):



(d) Sự phân tách do va chạm (hệ số δ) theo chiều thuận và sự gắn 3 vật thể (hệ số tỷ lệ a_r) diễn ra theo chiều ngược lại :



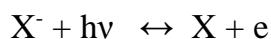
Phản ứng phân tách có thể xảy ra dễ dàng nếu phân tử M ở trạng thái kích thích, trong trường hợp đó phản ứng có thể được viết :



(e) Sự phân tách kết hợp theo chiều thuận và sự gắn kết phân tách diễn ra theo chiều ngược lại :



(f) Sự quang phân ly (hệ số ρ) theo chiều thuận và sự gắn kết bức xạ (hệ số tỷ lệ a_r) theo chiều ngược lại :



Trong đó ρ là tích của thông lượng bức xạ mặt trời gây ra hiện tượng phân ly và tiết diện ngang hấp thụ của chất khí. Bảng 2.1 tổng kết các quá trình sinh và mất ion trong tầng điện ly với những bình luận về độ lớn của chúng. Các giá trị hằng số của các hệ số tỷ lệ được suy ra từ lý thuyết hoặc từ thực nghiệm nên có tính chất tham khảo.

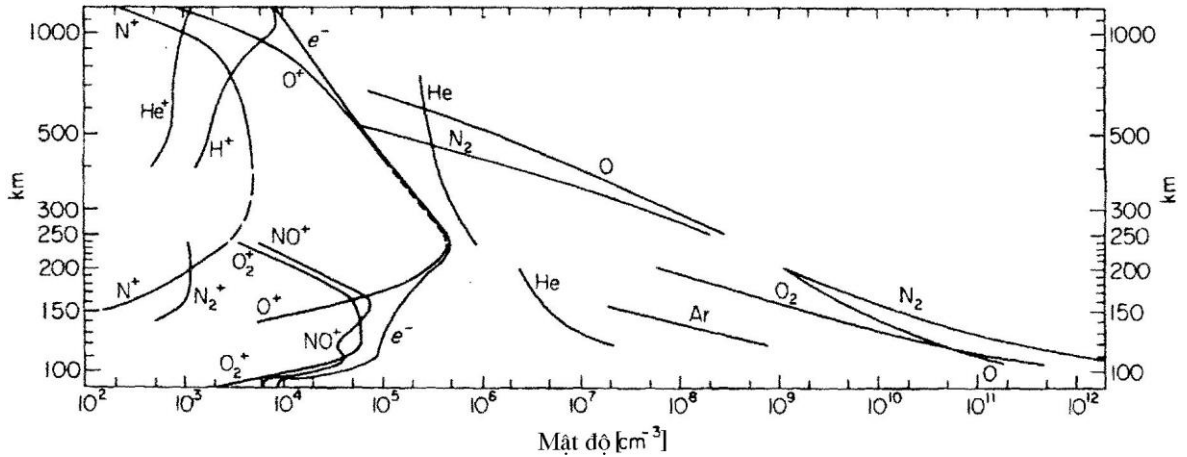
Bảng 2.1 Các quá trình tạo và mất ion [76]

| Quá trình | Đóng góp vào phương trình liên tục (phản ứng/đơn vị thể tích/đơn vị thời gian) và các giá trị của các hệ số | Vùng D 60-90km (xấp xỉ) | Vùng E 90-150km (xấp xỉ) | Vùng F 150-600km (xấp xỉ) |
|--|---|--|---|---|
| Tạo ion | | | EUV 911-1027Å | EUV 170-911 Å |
| Quang ion hóa mặt trời (các bức xạ chính chỉ ra trong dấu []) | $q(h)$ | [Ly α 1216 Å] (ion hóa NO) Tia X 1-10 Å | [Ly β 1026 Å] O ₂ bị ion hóa bởi $\lambda < 1027$ Å Tia X 10-170 Å | [He II 304 Å, He I 584 Å] O bị ion hóa bởi $\lambda < 911$ Å N ₂ bị ion hóa bởi $\lambda < 796$ Å |
| Ion hóa hạt (rất quan trọng ở vùng vĩ độ cao, đặc biệt là vùng cực) | $q(h)$ | electrons > 30keV Protons > 1MeV Các tia vũ trụ | Electrons 1-30keV gây ra một số hiện tượng ion hóa ban đêm và lớp Es | Electrons \leq 1keV (Một lượng nhỏ; có thể đáng kể vào ban đêm) |
| Mất ion | | | | |
| Tái hợp ion-ion | $\alpha_i N_+ N_-$ $\alpha_i \sim 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ $= 10^{-13} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ | Quan trọng | Ít ion âm tồn tại | Rất ít ion âm tồn tại |
| Tái hợp electron-ion: + Tái hợp ba vật thể + Tái hợp bức xạ + Tái hợp phân ly | $\alpha_e N_+ N_e$ $\alpha_e = \alpha(h)$ $\alpha_e \sim 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} = 10^{-18} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ $\alpha_e \sim 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} = 10^{-13} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ | Quan trọng Không có ý nghĩa Quan trọng | Mật độ khí quá thấp Không quan trọng Cơ chế mất mát chiếm ưu thế | Mật độ khí quá thấp Không quan trọng Cơ chế mất mát chiếm ưu thế |
| Trao đổi ion-nguyên tử (N_A^+ = hàm lượng ion nguyên tử) | $\beta(h) N_A^+ \approx \gamma n[M] N_A^+$ | Không quan trọng, do chỉ có một lượng ít các ion nguyên tử tồn tại | Quan trọng | Quan trọng |
| Gắn kết Bức xạ Ba vật thể | $a(h) N_e = a_r n[X] N_e + a_i n[X] n[M] N_e$ $a_r \sim 10^{-15} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} = 10^{-21} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ | Gắn kết ba vật thể là quan trọng nhất | Có thể duy trì một số ion âm vào ban đêm | Gắn kết bức xạ cung cấp một nguồn rất yếu các ion âm |

| | | | | |
|---|---|--|------------------------|---|
| | $a_t \sim 10^{-30} \text{cm}^6 \text{s}^{-1} = 10^{-42} \text{m}^6 \text{s}^{-1}$ | | | |
| Tách rời do va chạm, ... : + Tách rời va chạm + Tách rời kết hợp + Tách rời bởi các phân tử siêu ổn định | $\delta(h) N_e \equiv \kappa n[M]N$. $\kappa \sim 10^{-20} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} = 10^{-26} \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ $\kappa \sim 10^{-10} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} = 10^{-16} \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ $\kappa \sim 10^{-10} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} = 10^{-16} \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ | Quan trọng, đặc biệt về ban đêm | Rất quan trọng | Không đáng kể |
| Quang phân ly do bức xạ nhìn thấy và tia UV dài | ρN . $\rho \sim 1 \text{s}^{-1}$ | Nguyên nhân chính của sự thay đổi ngày/đêm của ion âm và điện tử (N/N_e) | Chỉ ảnh hưởng ban ngày | Nguyên nhân chính về sự thiếu vắng của các ion âm |

2.1.2.2 Hợp phần ion trong tầng điện ly

Hợp phần ion và hợp phần khí trung hòa được rút ra từ tài liệu đo đạc bằng tên lửa với các phổ kế khối lượng và vệ tinh, Johnson đã tổng kết các kết quả của phép đo nồng độ sẵn có được minh họa trên hình 2.2.



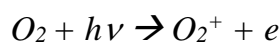
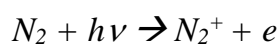
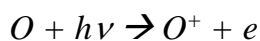
Hình 2.2, Hợp phần khí quyển và tầng điện ly trong thời gian ngày dựa trên phép đo phổ kế khối lượng và vệ tinh (H. Rishbeth and O. K. Garriott, [76]).

Ở phía dưới độ cao 100 km, N_2 và O_2 có cùng tỷ lệ như trong vùng khí quyển dưới thấp là khoảng 4:1, và chiếm tỷ lệ trội hơn các thành phần khí khác. Từ hình 2.2 ta thấy rằng gần độ cao 110 km, lượng Oxy nguyên tử đạt tới lượng Oxy phân tử, và phía trên độ cao khoảng 250 km thì mật độ Oxy nguyên tử vượt quá mật độ của N_2 . Xu hướng này gây bởi hiện tượng quang phân ly O_2 bởi bức xạ cực tím của Mặt Trời. Sự chiếm ưu thế của Oxy nguyên tử trong hợp phần khí trung hòa được phản ánh bởi hợp phần plasma. Ở phần bên trái của hình chỉ ra tuyến phân bố ion và mật độ electron (được gán là e^-). Gần đỉnh mật độ plasma, các ion chủ yếu là O^+ , tương ứng với nồng độ cao của Oxy nguyên tử trong khí trung hòa. Khoảng độ cao

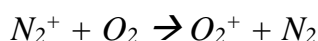
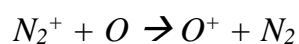
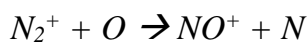
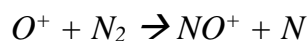
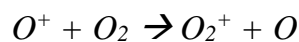
từ 150 đến 500 km được gọi là lớp F, và độ cao mà mật độ điện tử đạt giá trị lớn nhất được gọi là đỉnh F. Dưới đỉnh này, NO^+ và O_2^+ lại trở lên quan trọng và chiếm ưu thế trong plasma dưới khoảng 150 km. Khoảng độ cao từ 90 đến 150 km được gọi là lớp E và tầng ion dưới 90 km được gọi là lớp D. Ở độ cao lớn trên 1000 km, Hydro trở thành ion chiếm ưu thế và quyển này gọi là quyển proton.

Kết quả trên được áp dụng cho các điều kiện trung bình vào ban ngày đối với thời kỳ vết đen mặt trời cực tiểu. Từ mô hình ta thấy rằng hợp phần khí trung hòa chính trong nhiệt quyển đó là O , N_2 và O_2 . Như vậy các ion chính được tạo ra bởi sự quang ion hóa và tương tác trong nhiệt quyển là O^+ , NO^+ , O_2^+ theo các phương trình phản ứng quang hóa sau:

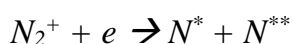
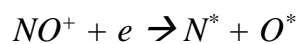
Quang hóa



Di chuyển hoặc thay đổi



Tái hợp phân ly



Chính sự tồn tại của nhiều loại phân tử, ion trong tầng điện ly đã dẫn đến sự phân tách tầng điện ly thành các lớp tương ứng với các ion đặc trưng của từng lớp như đã được nêu ra ở phần trên.

2.1.2.3 Hàm sinh ion của Chapman

Đối với trường hợp đơn giản nhất của một chùm bức xạ mặt trời đơn sắc song song ion hóa một khí đẳng nhiệt đơn thành phần trong một lớp phân lớp ngang, tốc độ tạo cặp ion được cho bởi hàm Chapman [76, 79]:

$$q(h, \chi) = q_0 e^{(1 - z \sec \chi \exp(-z))} \text{ với } z = (h - h_0) / \Delta h \quad (2.2)$$

Trong đó $q(h, \chi)$ là tốc độ tạo ion; h là độ cao; χ là góc thiên đỉnh của Mặt Trời; q_0 là tốc độ sinh ion ở $z=0$; z là chiều cao rút gọn; h_0 là độ cao sinh ion cực đại chuẩn khi Mặt Trời ở trên đỉnh đầu (hoặc $\chi=0$), và Δh là độ cao tỷ lệ. Tốc độ tạo ion q_0 được cho bởi:

$$q_0 = \frac{I_\infty \eta}{\Delta h e} \quad (2.3)$$

trong đó I_∞ là mật độ thông lượng mặt trời bên ngoài tầng khí quyển tính bằng photon trên một đơn vị diện tích; η là số cặp ion tạo ra bởi mỗi photon; và e là cơ số hàm mũ tự nhiên.

Độ cao h_{max} ở đó xảy ra quá trình tạo ion cực đại thu được bằng cách vi phân hàm Chapman (2.2), ta có:

$$h_{max} = h_0 + \Delta h z_{max} \text{ với } z_{max} = \ln \sec \chi \quad (2.4)$$

Cực đại tạo ion là:

$$q_{max} = q_0 \cos \chi \quad (2.5)$$

Trong các lớp E và F_1 , các ion có thể bị tái hợp với các điện tử với tốc độ phụ thuộc theo qui luật bậc hai vào mật độ điện tử N_e . Loại bỏ số hạng do các quá trình vận chuyển, ta có phương trình liên tục sau:

$$\frac{dN_e}{dt} = q - \alpha N_e^2 \quad (2.6)$$

Trong đó α là hệ số tái hợp trung bình đối với các ion phân tử. Chú ý rằng (2.6) không đúng ở độ cao trong tầng điện ly – với mật độ thấp, tại đó tốc độ mất mát phụ thuộc tuyến tính vào N_e .

Trong cân bằng quang hóa, tức là khi $dN_e/dt = 0$, phân bố mật độ điện tử tương ứng với hàm Chapman (2.2) là:

$$N_e(z, \chi) = N_{e,0} e^{\frac{1}{2}(1 - \sec \chi e^{-z})} \quad \text{với } N_{e,0} = \left(\frac{q_0}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

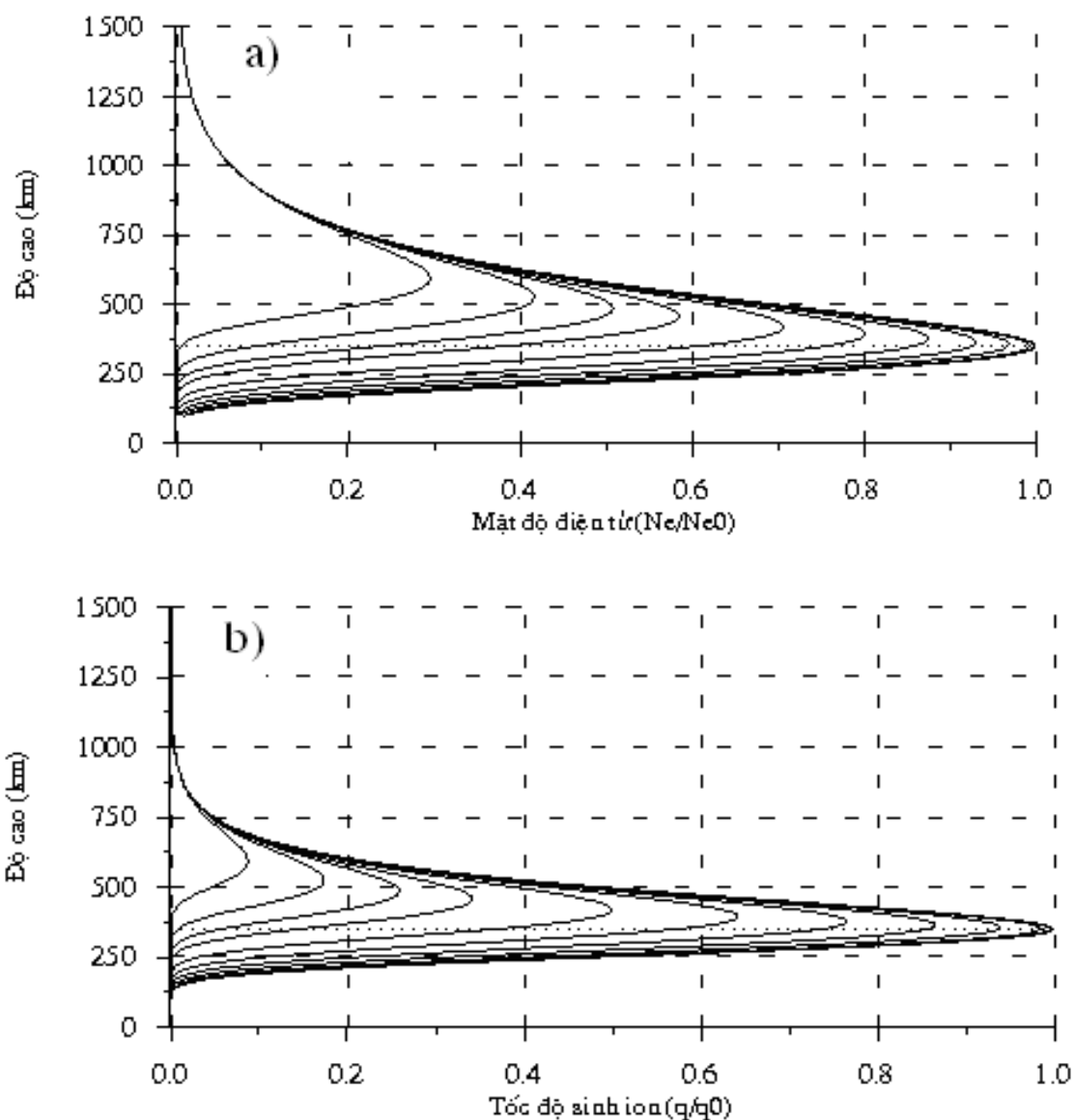
trong đó $N_{e,0}$ là mật độ điện tử ở $z = 0$. Phân bố này được gọi là phân bố Alpha Chapman hoặc đơn giản là lớp Chapman.

Độ cao ở đó mật độ điện tử cực đại đồng nhất với độ cao ở đó tốc độ sinh ion là lớn nhất được cho bởi (2.4). Cực đại mật độ điện tử là:

$$N_{e,\max}(\chi) = N_{e,0} \cos^{\frac{1}{2}} \chi \quad (2.8)$$

Tốc độ tạo ion (2.2) và phân bố mật độ điện tử tương ứng (2.7) được chỉ ra trên các hình 2.3. Với độ cao chuẩn $h_0 = 350 \text{ km}$, độ cao tỷ lệ $\Delta h = 100 \text{ km}$, và góc thiên đỉnh mặt trời là $\chi=0$, nghĩa là độ cao h_{\max} bằng h_0 được chỉ ra bằng đường chấm chấm. Các tuyến đối với góc thiên đỉnh mặt trời: $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, \dots, 85^\circ$ được vẽ bằng các đường mảnh hơn. Thay đổi cường độ thông lượng mặt trời $\varphi(\infty)$ sẽ thay đổi giá trị q_{\max} và $N_{e,\max}$, nhưng không ảnh hưởng tới độ cao tương ứng h_{\max} .

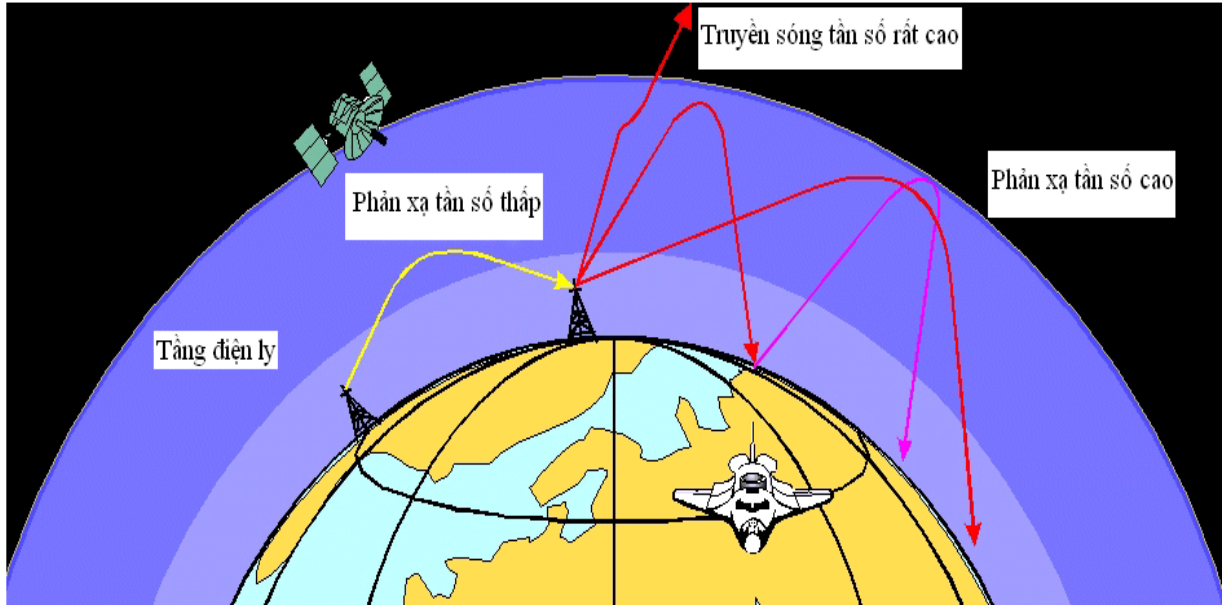
Xem xét kỹ phân bố mật độ (2.7) ta thấy rằng vào buổi trưa $N_{e,\max}$ về mặt lý thuyết đạt cực đại, và h_{\max} đạt cực tiểu. Khi không có nguồn bức xạ mặt trời, mật độ điện tử giảm. Ở bán cầu ban đêm, mật độ điện tử thấp và khá ổn định. Chúng ta thấy rằng mật độ điện tử phụ thuộc mạnh vào vị trí tương đối của Mặt Trời và góc thiên đỉnh của Mặt Trời, một cách tương ứng, điều này cho thấy có sự biến thiên ngày đêm cũng như biến thiên theo mùa rõ rệt của mật độ điện tử. Sự phụ thuộc này của trạng thái tầng điện ly vào vị trí của Mặt Trời có thể được sử dụng một cách có hiệu quả trong việc mô hình hóa theo không gian và theo thời gian của mật độ điện tử. Sau khi bị ion hóa, các điện tử tự do có xu hướng phản ứng lại với các phân tử khác, điều đó cho thấy rằng không chỉ quá trình quang ion hóa mà cả các quá trình vận chuyển quyết định phân bố không gian của các điện tử và các ion trong tầng điện ly. Vì vậy tuyến mật độ điện tử thẳng đứng trong tầng điện ly thực tế có thể khác với các tuyến rút ra từ lý thuyết Chapman [76, 79].



Hình 2.3, a) Phân bố tuyến mật độ thẳng đứng của lớp Chapman và b) Tốc độ sinh ion Chapman theo góc thiên đỉnh mặt trời từ 0° đến 85° với bước thay đổi 5° .

2.1.3 Truyền sóng radio qua tầng điện ly

Như trên đã nêu tầng điện ly được xác định là một phần của khí quyển tầng trên, ở đó tồn tại mật độ điện tử đủ lớn để gây ảnh hưởng lên quá trình truyền sóng radio. Đối với các sóng radio có tần số nhỏ hơn 100 MHz, thì tầng điện ly được xem là môi trường hấp thụ và phản xạ sóng. Đối với các sóng cực ngắn, có tần số lớn hơn 100 MHz thì tầng điện ly đóng vai trò là một nguồn nhiễu.



Hình 2.4, Mô hình truyền sóng qua tầng điện ly

(<http://radiojove.gsfc.nasa.gov/education/educ/radio/tran-rec/exerc/iono.htm>).

Quá trình truyền sóng qua tầng điện ly được xác định bởi chỉ số khúc xạ của môi trường. Chỉ số khúc xạ đối với môi trường ion nhận được từ phương trình Appleton-Hartree và được biểu diễn như sau [46]:

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \frac{Y_T^2}{2(1 - X - iZ)} \pm \left[\frac{Y_T^4}{4(1 - X - iZ)^2} + Y_L^2 \right]^{1/2}} \quad (2.9)$$

trong đó X, Y, Z là các đại lượng vô hướng và được xác định như sau:

$$X = \omega_N^2 / \omega^2, \quad Y = \omega_B / \omega, \quad Y_L = \omega_L / \omega, \quad Y_T = \omega_T / \omega, \quad Z = \nu / \omega,$$

với: $\omega = 2\pi f$, trong đó f là tần số hoạt động của hệ thống, tính bằng Hz và

$\omega_N = N_e^2 / \epsilon_0 m$, là tần số góc plasma, tính bằng Hz

$\omega_B = Be / m$, là tần số hồi chuyển của điện tử, tính bằng Hz

$\omega_L = \omega_B \cos \theta$, là thành phần theo phương kinh tuyến của tần số hồi chuyển

ω_B

$\omega_T = \omega_B \sin \theta$, là thành phần theo phương ngang của tần số hồi chuyển ω_B

N_e : mật độ điện tử, tính bằng e/m^3

B : mật độ thông lượng từ, Tesla

e : điện tích của điện tử, $= -1.602 \times 10^{-19}$ Coulomb,

ϵ_0 : hằng số điện môi trong chân không, $= 8.854 \times 10^{-12}$ farad/m,

m : khối lượng của điện tử, $= 9.107 \times 10^{-31}$ kg,

θ : là góc giữa phương truyền sóng và véc tơ trường từ,

ν : tần số va chạm giữa nguyên tử trung hòa và điện tử.

Trong trường hợp bình thường, chỉ số khúc xạ trong tầng điện ly n là một đại lượng phức tạp và dấu (+) trong phương trình được dùng cho thành phần sóng radio bình thường O (ordinary wave), dấu (-) được dùng cho sóng bất thường X (extraordinary wave).

Khác với sự truyền sóng qua tầng đối lưu chủ yếu phụ thuộc vào áp suất, nhiệt độ và nồng độ hơi nước, sự truyền sóng qua tầng điện ly ảnh hưởng chủ yếu bởi mật độ điện tử tự do dọc theo đường truyền. Đó chính là đặc trưng quan trọng của tầng điện ly mà cấu trúc của nó và cực đại mật độ điện tử thay đổi mạnh theo thời gian trong ngày, theo mùa trong năm, theo vĩ độ địa lý, các nhiễu loạn địa từ và nhiễu loạn mặt trời.

2.1.4 Hoạt tính mặt trời

Vì quá trình ion hóa trong tầng điện ly bị khống chế chủ yếu bởi bức xạ điện từ và bức xạ hạt của Mặt Trời, nên nó là một hàm phụ thuộc vào hoạt tính mặt trời. Trên bề mặt của Mặt Trời có những vết tối gọi là vết đen mặt trời, lần đầu tiên được nhận ra bởi Theophrastus khoảng năm 352 trước Công nguyên, đặc trưng cho hoạt tính của Mặt Trời. Mức độ hoạt động của Mặt Trời thể hiện qua số vết đen trên bề mặt quan sát được. Các vết đen mặt trời dường như là tối vì nhiệt độ bề mặt ở đó thấp so với nhiệt độ của vầng hào quang xung quanh Mặt Trời. Các vết đen thường có kích cỡ từ vài trăm km đến vài chục ngàn km. Thời gian sống của chúng biến đổi khá rộng, một số vết đen chỉ kéo dài vài ngày, trái lại một số khác còn sống trong vài chu kỳ quay của Mặt Trời khoảng 27 ngày. Do vết đen mặt trời xuất hiện thành từng nhóm, trong đó có nhiều vết nhỏ khó mà đếm một cách chính xác nên vào năm 1848, J. R. Wolf ở đài thiên văn Zurich-Thụy Sĩ, đã đề nghị cách tính số vết đen mặt trời bằng tổng số vết đen riêng biệt cộng với 10 lần số nhóm vết đen (vì mỗi nhóm trung bình có khoảng 10 vết). Tuy nhiên, số này chỉ mang tính tương đối do

phụ thuộc nhiều vào quan sát viên, điều kiện và thiết bị quan sát. Số vết đen mặt trời tính theo công thức của R. Wolf được gọi là số Wolt (W), hay số R_z , là kết quả quan sát được tại đài quan sát Zurich:

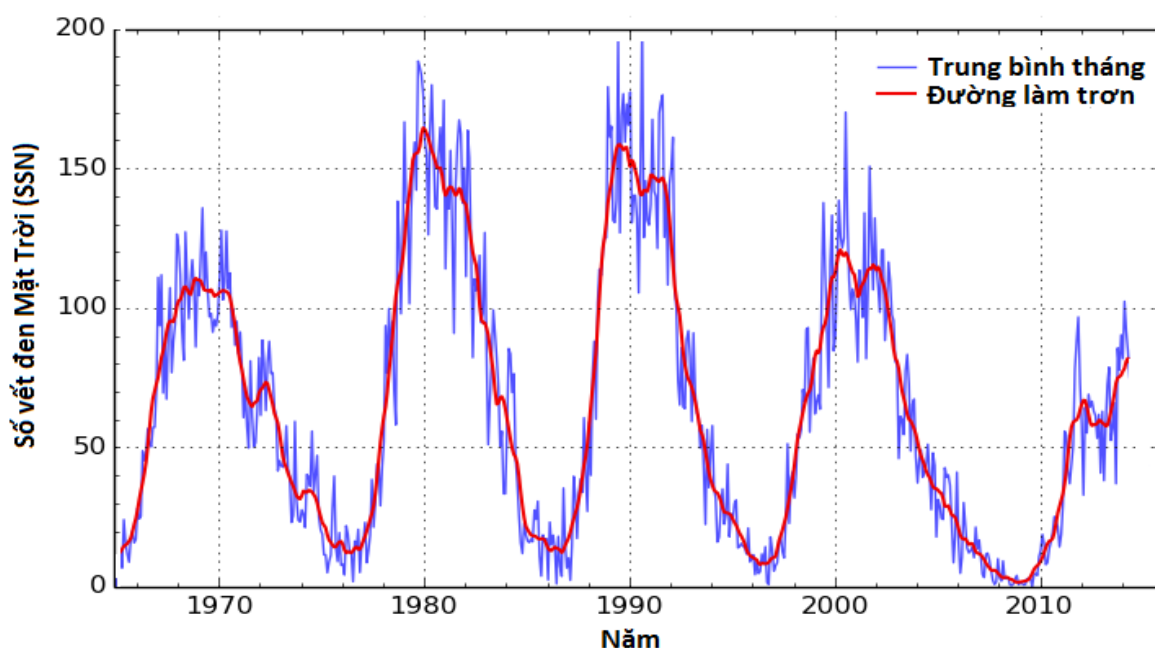
$$R_z = k(10g + s) \quad (2.10)$$

Trong đó: g - số nhóm vết đen

s - số vết đen riêng lẻ,

k - hệ số điều chỉnh (Wolf lấy hệ số $k = 1$)

Số vết đen mặt trời hàng tháng, hàng năm là giá trị trung bình của số vết đen hàng ngày, có thể là số thập phân. Số R_z được thu thập từ năm 1848 và đến năm 1981 được nối tiếp bằng số vết đen mặt trời quốc tế R_i (*International Sunspot Number*). Số này do trung tâm dữ liệu số vết đen mặt trời ở Bỉ cung cấp (Sunspot Index Data Center - SIDC), dựa trên số liệu thu thập từ hơn 25 trạm quan sát trên nhiều nước. Ngày nay số trạm trên toàn thế giới mở rộng đến hàng trăm trạm và số R_i được công bố rộng rãi trên website: <http://www.sidc.be>.



Hình 2.5, Số vết đen Mặt Trời trung bình tháng từ năm 1965 đến 2014

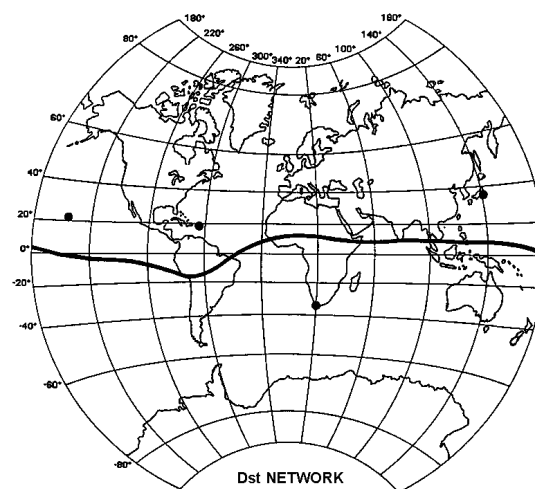
(<http://www.sidc.be/silso/monthlyssnplot>).

Hình 2.5 chỉ ra tiến trình của số vết đen mặt trời trung bình tháng từ năm 1965 đến năm 2014. Phân tích phổ chuỗi thời gian trung bình tháng của số vết đen mặt trời chỉ ra sự có mặt của các dao động chu kỳ khoảng 11 năm và các hài điều hòa của

nó. Trong khoảng thời gian từ 1965 tới 2014 tương ứng với hơn 4 chu kỳ hoạt động mặt trời.

Khi trên bề mặt của Mặt Trời phát ra các luồng gió mặt trời mạnh, tương tác với từ quyển của Trái Đất và gây ra nhiễu loạn từ trường của Trái Đất, gọi là bão từ. Bão từ là một trong những hiện tượng vật lý phức tạp trong trường địa từ. Trong thời gian bão từ trường từ quan sát được gây bởi nhiều nguồn khác nhau: hệ dòng Sq trong tầng điện ly gây ra biến thiên ngày đêm đều đặn, các dòng điện ở ranh giới từ quyển do tương tác của trường địa từ và gió mặt trời ở pha đầu của bão từ, dòng chạy trong phần đuôi từ quyển, dòng vòng xích đạo, dòng nhiễu loạn trong tầng điện ly... Các dòng này có độ lớn khác nhau và ở các pha khác nhau của bão. Tham số thường dùng đặc trưng cho mỗi trận bão từ là chỉ số Dst (disturbance – storm time). Chỉ số Dst được tính từ sự thay đổi trung bình toàn cầu của thành phần nằm ngang trường địa từ tại xích đạo từ dựa trên số liệu của bốn trạm đo từ như chỉ ra trên hình 2.6.

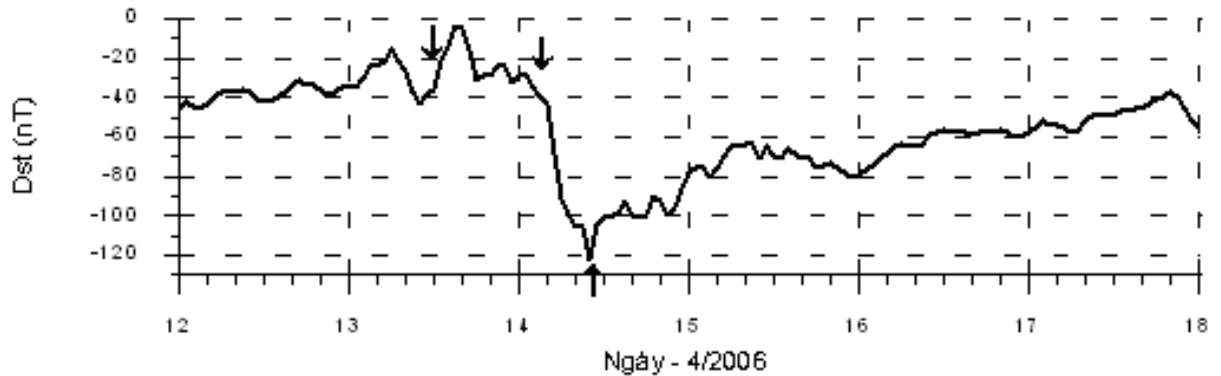
| Tên trạm | Kinh độ địa lý | Vĩ độ địa lý |
|----------|---------------------|-------------------------|
| Hermanus | 19.22 ⁰ | - 34.40 ⁰ |
| Kakioka | 140.18 ⁰ | 36.23 ⁰ |
| Honolulu | 201.98 ⁰ | 21.32 ⁰ |
| San Juan | 292.88 ⁰ | 18.11 ⁰ |



Hình 2.6, Tọa độ và vị trí trạm quan sát Dst (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>).

Dst được tính mỗi giờ một giá trị và ghi lại theo thời gian thực. Trong thời gian yên tĩnh, giá trị Dst nằm trong khoảng +20 và -20 nano Tesla (nT). Trong một trận bão từ thường có 3 pha: pha đầu, pha chính và pha hồi phục. Pha đầu thường đặc trưng bởi chỉ số Dst tăng lên 20 đến 50 nT trong hàng chục phút. Những trận bão có xuất hiện pha đầu thường gọi là bão từ bất đầu bất ngờ. Tuy nhiên không phải trận bão từ nào cũng có pha đầu và có sự tăng lên bất ngờ của chỉ số Dst. Pha chính của bão được xác định khi giá trị Dst suy giảm đến giá trị cực tiểu (từ -50nT

đến -600nT), thời gian xuất hiện pha chính thường kéo dài từ 2 đến 8 giờ. Pha hồi phục được tính là khi giá trị Dst thay đổi từ giá trị cực tiểu đến giá trị trong ngày yên tĩnh từ, thời gian của pha hồi phục thường kéo dài từ vài giờ đến vài ngày. Độ lớn của trận bão từ thường được phân thành 3 mức: trung bình ($-100\text{nT} < \text{Dst} < -50\text{nT}$), mạnh ($-250\text{nT} < \text{Dst} < -100\text{nT}$) và siêu bão ($\text{Dst} < -250\text{nT}$).



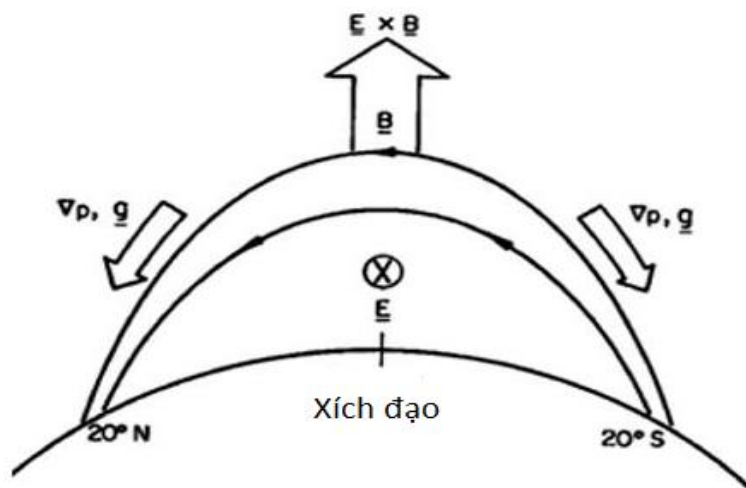
Hình 2.7, Biến thiên của chỉ số Dst từ ngày 12/04 đến ngày 17/04/2006. Các mũi tên chỉ các thời điểm bắt đầu của pha đầu, pha chính và pha hồi phục của bão từ.

2.1.5 Tầng điện ly vùng xích đạo và nhiễu loạn điện ly

2.1.5.1 Tầng điện ly vùng xích đạo

Tầng điện ly vùng xích đạo được xác định là vùng điện ly nằm trong khoảng $\pm 20^\circ$ ở hai phía xích đạo từ. Hình thái của tầng điện ly vùng xích đạo hoàn toàn khác so với ở các vùng vĩ độ cao và vùng vĩ độ trung bình do đường sức trường từ \vec{B} ở xích đạo từ gần như song song với bề mặt Trái Đất. Vào ban ngày, các dao động triều khí quyển và dao động nhiệt trong lớp dưới của tầng điện ly do tác dụng của bức xạ mặt trời làm di chuyển plasma lên trên và cắt ngang các đường sức từ trường. Điều đó đã tạo nên một bản dòng trong lớp E cùng với một điện trường \vec{E} hướng từ tây sang đông. Trường điện này trong lớp E cùng với trường từ nằm ngang trong vùng xích đạo từ đã đẩy plasma dịch chuyển lên trên vào vùng F của tầng điện ly (sự trôi dạt dưới tác dụng của lực $\vec{E} \wedge \vec{B}$). Plasma đã được nâng lên phía trên xích đạo từ tới các độ cao lớn hơn, đặc biệt khoảng độ cao 500 km, ở đó tốc độ tái hợp xảy ra rất chậm, sau đó plasma bị khuếch tán xuống dưới và dịch chuyển dọc theo đường sức từ trường về phía hai cực dưới tác dụng của trọng lực và gradient áp suất. Kết quả là, dị thường điện ly xích đạo được hình thành với sự suy

giảm mật độ ion của lớp F tại xích đạo và sự tăng ion ở hai đỉnh dị thường xung quanh $\pm 15^\circ$ vĩ độ từ ở phía bắc và phía nam xích đạo từ (hình 2.8). Hiện tượng này giống như hình ảnh của “vòi phun” nên người ta thường gọi là “hiệu ứng vòi phun plasma xích đạo”.



Hình 2.8, Hiệu ứng vòi phun xích đạo

(<http://www.everythingselectric.com/forum/index.php?topic=170.0>).

Gần với thời điểm Mặt Trời lặn, động học trong tầng điện ly vùng vĩ độ thấp bị chi phối bởi trường điện hướng đông tăng lên bất thường trước khi đảo chiều đổi sang hướng tây (*Preversal Electric Field Enhancement - PRE*). Trong những giờ sau khi Mặt Trời lặn, mật độ plasma và động học trường điện trong vùng E giảm, đồng thời đỉnh dị thường điện ly mất dần, trong khi đó tại thời gian này động học trường điện bắt đầu phát triển trong vùng F . Với sự suy giảm mật độ ion trong vùng E sau khi Mặt Trời lặn và sự phát triển trường điện trong vùng F làm hình thành gradient mật độ plasma thẳng đứng hướng lên ngược với hướng của trọng lực trong vùng đáy của lớp F . Trạng thái này gọi là trạng thái bất ổn định Rayleigh-Taylor (RT) và là nguyên nhân phát sinh các dị thường mật độ trong tầng điện ly vùng xích đạo và vùng vĩ độ thấp, đặc biệt tại vùng đỉnh dị thường. Sự phát triển không tuyến tính của các bất ổn định này dẫn đến sự hình thành các vùng suy giảm điện ly lớn, hiện tượng này thường quan sát thấy trong vùng điện ly xích đạo và gọi là bọng plasma [46, 76, 89].

2.1.5.2 Lớp E rời rạc (Sporadic E)

Lớp E rời rạc hay còn được gọi là lớp *Es* xuất hiện trong vùng E của tầng điện ly, nằm trong vùng độ cao từ 100 đến 130 km. *Es* là đặc trưng cho sự xuất hiện các mảng nhiễu loạn trong vùng E, với kích thước khoảng vài trăm mét về độ dày. Sự xuất hiện của lớp *Es* là ngẫu nhiên và không có khả năng dự báo, có thể xuất hiện bất kỳ thời điểm nào trong ngày, mùa trong năm và ở cả ba vùng vĩ độ, nhưng xuất hiện thường xuyên nhất tại các vĩ độ gần xích đạo. Sự xuất hiện *Es* thường xuyên tại xích đạo được cho là gây bởi các nhiễu loạn plasma liên quan tới dòng điện xích đạo trong vùng E của tầng điện ly.

2.1.5.3 Vết lớp F trải rộng (Spread-F)

Thuật ngữ “*Spread F*” hay vết lớp F trải rộng (*F_s*) được sử dụng để gọi tên vết khi có hiện tượng vết điện ly trải rộng trên điện ly ở độ cao nằm trong vùng F của tầng điện ly. Khoảng thời gian xuất hiện hiện tượng này được gọi là thời kỳ của *F_s* và các nhiễu loạn gây ra *F_s* được gọi là nhiễu loạn *F_s*. Nét đặc trưng chính trong phân bố theo địa lý của *F_s* là tồn tại hai vùng thường xuyên xuất hiện đó là $\pm 20^\circ$ vĩ độ hai bên xích đạo từ và tại các vĩ độ cực. Thường xuất hiện trong khoảng độ cao từ 250 đến 600 km, với kích thước nhiễu loạn đạt tới từ một vài mét tới hàng 100 km hoặc hơn. *Spread F* xích đạo (*ESF*-Equatorial Spread F), là hiện tượng biểu hiện các bất ổn định plasma điện ly, thường xuất hiện trong vùng F khu vực xích đạo sau khi Mặt Trời lặn. Cơ chế hình thành *ESF* chủ yếu gây bởi trạng thái bất ổn định Rayleigh-Taylor (Gravitational Rayleigh-Taylor, GRT) trong mối liên hệ với các quá trình vật lý khác trong tầng điện ly vùng xích đạo. Vào thời điểm sau khi Mặt Trời lặn, dưới tác dụng của thành phần trường điện lớp F khu vực xích đạo từ được nâng lên đột ngột đến một độ cao nơi có mật độ plasma thấp và sự va chạm plasma hiếm xảy ra. Vùng gradient nồng độ điện tử dương tính của đáy lớp F tăng lên nhanh chóng làm cho vùng điện ly trở nên mất ổn định và hỗn loạn dẫn tới sự tăng trưởng bọt plasma. Trạng thái này ảnh hưởng lớn đến cấu trúc vùng đáy của lớp và là điều kiện quan trọng cho sự hình thành các bất ổn định. Vào giai đoạn đầu của sự hình thành *spread F* khi các cấu trúc bất ổn định cỡ nhỏ (vài chục cm đến vài chục m) và các cấu trúc cỡ lớn (vài chục km đến vài trăm km) cùng tồn tại và làm nhiễu

loạn phần đáy lớp F. Sau đó khi các cấu trúc bất ổn định này phát triển lên phía trên, xuyên qua toàn bộ lớp F lên đến phần đỉnh thì các bất ổn định nhỏ bị triệt tiêu chỉ còn lại các cấu trúc bất ổn định lớn và hình thành các cấu trúc dạng bọt bong bóng (bubble), đây được gọi là giai đoạn phân rã hay giai đoạn gần kết thúc của quá trình phát triển ESF [22, 39, 85].

2.1.5.4 Các nhiễu loạn điện ly

Bằng các kỹ thuật khác nhau người ta quan trắc thấy phạm vi bất ổn định có thể từ hàng chục centimét tới hàng trăm kilômét tạo thành các mảng nhiễu loạn điện ly có kích thước khác nhau. Các nhiễu loạn điện ly di chuyển (*traveling ionospheric disturbances - TID*) có thể gây nên những biến đổi ở mật độ điện tử tổng cộng khoảng vài phần trăm. Người ta có thể chia các nhiễu loạn theo kích thước như sau:

- Các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô lớn (*Large-scale TIDs - LSTIDs*), có chu kỳ từ khoảng 30 phút tới 3 giờ và có bước sóng ngang lớn hơn 1000km.

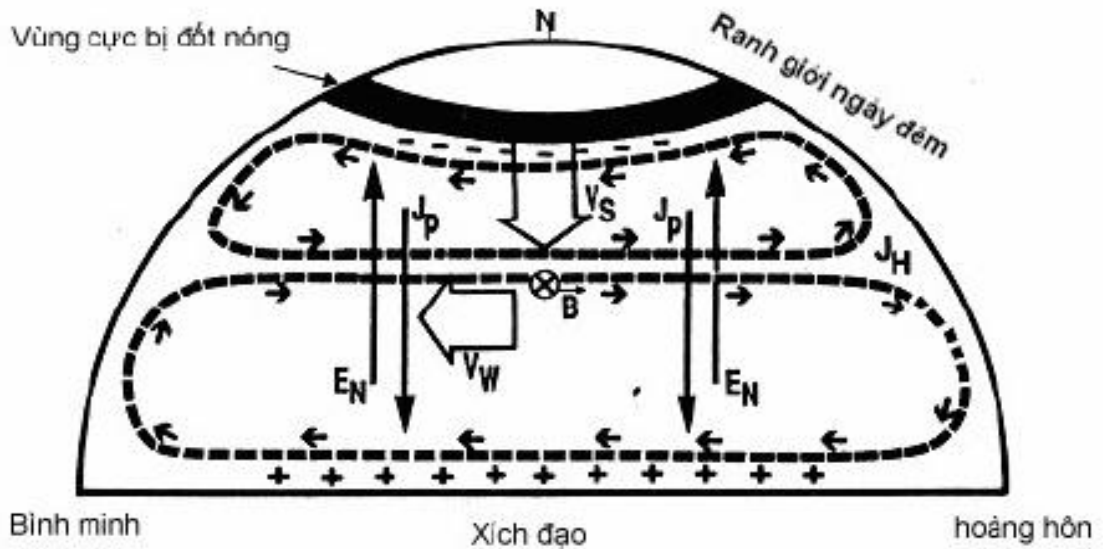
- Các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô trung bình (*Medium-scale TIDs - MSTIDs*), có chu kỳ từ khoảng 10 phút tới 1 giờ và có bước sóng ngang khoảng vài trăm km.

- Các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô nhỏ (*Small-scale TIDs - SSTIDs*), có chu kỳ cỡ vài phút và bước sóng ngang hàng chục km.

Nhiều loạn điện ly là một hiện tượng có tính toàn cầu. Hiện nay chúng ta còn chưa có nhiều hiểu biết về khí hậu học các nhiễu loạn điện ly. Các cấu trúc quy mô nhỏ nhất ở phân bố mật độ điện tử gây nên những hiệu ứng thăng giáng, những biến thiên nhanh ở nồng độ điện tử. Những thăng giáng điện ly chủ yếu xảy ra trong vùng xích đạo, vùng vĩ độ cao và vùng cực.

Cuối cùng là những hiện tượng điện ly rất lớn, được gọi là bão điện ly. Những hiện tượng này thường đi kèm với nhiễu loạn mạnh của trường từ (bão từ) và những bùng nổ sắc cầu lớn của Mặt Trời. Bão điện ly thường tạo nên một số lượng lớn điện tử. Kiểu bão điện ly, trong đó có các bất đối xứng theo vĩ độ và kinh độ, có thể thay đổi đáng kể từ sự kiện này tới sự kiện khác, điều đó làm cho không thể dự báo một cách chính xác các bão điện ly. Năm 1980 Blanc và Richmond [31]

đề xuất mô hình dynamo nhiễu loạn điện ly. Nguyên lý cơ bản của mô hình này được trình bày trên hình 2.9, mô hình dynamo nhiễu loạn điện ly này có thể cho phép hiểu được một cơ chế phát sinh quan trọng của các dòng và trường điện ở vùng vĩ độ trung bình và vĩ độ thấp diễn ra sau quá trình đốt nóng vùng cực mạnh mẽ trong thời gian bão từ.



Hình 2.9, Mô hình Dynamo nhiễu loạn điện ly (Blanc & Richmond, 1980 [31]).

Trong thời gian bão từ, tầng điện ly vùng cực bị đốt nóng do sự toả nhiệt Jun của các dòng điện vùng cực quang và sự gia tăng của các luồng hạt gió mặt trời. Nhiệt lượng toả ra được lan truyền đi một cách đồng nhất từ vùng vĩ độ cao tạo nên gió trung hòa theo phương kinh tuyến hướng về phía xích đạo tại các độ cao vùng F được ký hiệu là \vec{V}_s . Do tác động của lực Coriolis, gió kinh tuyến hướng xích đạo tạo ra chuyển động vĩ hướng hướng về phía tây (véc tơ \vec{V}_w). Chuyển động vĩ hướng \vec{V}_w tổ hợp với thành phần trường từ hướng xuống dưới (được ký hiệu là $\otimes \vec{B}$) tạo ra một dòng Pedersen hướng về xích đạo (\vec{J}_p) ở trong tầng điện ly ở độ cao khoảng 150 km ở đó độ dẫn Pedersen của tầng điện ly là cao nhất. Dòng Pedersen có xu hướng làm tích tụ các điện tích dương ở xích đạo thiết lập nên một điện trường hướng ngược với hướng của dòng Pedersen và cuối cùng làm triệt tiêu dòng Pedersen. Điện trường hướng về cực này được ký hiệu là \vec{E}_N và hướng vuông góc với thành phần hướng xuống dưới của trường từ \vec{B} . Đến lượt mình, điện trường \vec{E}_N tác động

với thành phần hướng xuống dưới của trường từ làm xuất hiện một dòng Hall hướng về phía đông. Các dòng hướng về phía đông này được hy vọng là có cường độ cực đại ở các vĩ độ trung bình. Dòng Hall được ký hiệu là \bar{J}_H . Dòng Hall này là bị gián đoạn ở danh giới bình minh và hoàng hôn ở đó độ dẫn điện ly có gradient dọc theo phương kinh tuyến lớn. Các dòng bị gián đoạn này tạo nên các hạt tích điện phân cực ở các ranh giới bình minh và hoàng hôn tạo nên một điện trường hướng từ phía hoàng hôn sang phía bình minh. Hơn nữa các dòng bị lệch đi về vùng vĩ độ cao hơn và vùng vĩ độ thấp hơn do đó tạo nên 2 xoáy dòng như được chỉ ra trên hình 2.9, một xoáy dòng ở vùng vĩ độ cao và một xoáy dòng ở vùng xích đạo. Điều quan trọng phải nhấn mạnh rằng xoáy dòng nhiễu loạn ở vùng xích đạo xoay theo chiều kim đồng hồ, nghĩa là có hướng ngược với hướng của xoáy dòng S_q bình thường, điện trường liên quan với dòng nhiễu loạn này cũng hướng từ phía đông sang phía tây ngược với hướng của điện trường liên quan với hệ dòng S_q [46, 76, 89]. Trong giai đoạn đầu của bão từ (pha chính), trường từ giữa các hành tinh hướng về phía Nam, sự tương tác giữa trường từ giữa các hành tinh và gió mặt trời sẽ tạo nên trường điện hướng từ phía bình minh sang phía hoàng hôn ở tầng điện ly vùng cực. Sau đó trường điện này thâm nhập trực tiếp xuống vùng xích đạo, làm gia tăng điện trường hướng đông ở điều kiện bình thường, làm gia tăng hiệu ứng vòi phun và như vậy thường ở giai đoạn đầu của bão từ người ta quan sát được hiện tượng gia tăng của mật độ điện tử của đỉnh dị thường (bão điện ly dương) và sự dịch chuyển của đỉnh dị thường về phía cực. Ở giai đoạn sau của bão khi dynamo nhiễu loạn điện ly phát triển tạo ra điện trường hướng ngược lại từ đông sang tây ở khu vực xích đạo như đã phân tích, điện trường hướng đông suy giảm, làm suy giảm hiệu ứng vòi phun kèm theo sự dịch chuyển về phía xích đạo của đỉnh dị thường (bão âm). Tuy nhiên, gió không phải là nguyên nhân duy nhất của các hiệu ứng như vậy. Nhiều cơ chế khác bao gồm sự thay đổi thành phần khí trung hòa, sự ion hóa vận chuyển theo chiều ngang cùng với điện trường gây ra sự suy giảm mật độ... [46, 57, 76]. Dấu hiệu từ của dynamo nhiễu loạn điện ly đã được Lê Huy Minh & Mazaudier [63] chỉ ra trên số liệu các trạm địa từ ở khu vực xích đạo và ở các vùng vĩ độ khác.

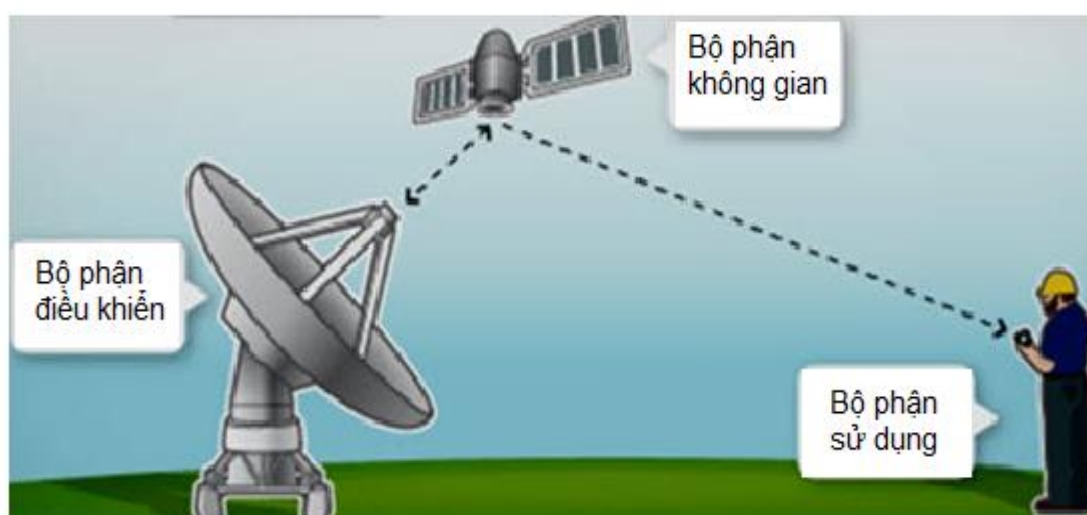
2.2 Hệ thống định vị toàn cầu và cơ sở phân tích số liệu GPS

Phần này sẽ giới thiệu tổng quan về hệ thống định vị toàn cầu. Các tín hiệu GPS và các thông số quan sát được từ hệ thống này. Các nguồn gây ảnh hưởng lên tín hiệu GPS và giới thiệu chi tiết về ảnh hưởng của tầng điện ly lên tín hiệu vệ tinh GPS.

2.2.1 Giới thiệu hệ thống định vị toàn cầu

Hệ thống định vị toàn cầu là một hệ thống dẫn đường bằng sóng radio trong không gian ở mọi thời tiết, mọi nơi trên Trái Đất và mọi thời điểm, được chính phủ Mỹ phát triển và thực hiện phục vụ cho các mục đích dân sự và quân sự trong việc xác định chính xác vị trí, vận tốc và thời gian ở khắp mọi nơi ở trên và gần mặt đất. Ngày nay hệ thống định vị toàn cầu cũng được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu khoa học: nghiên cứu chuyển động kiến tạo mảng của vỏ Trái Đất, nghiên cứu thời tiết vũ trụ, tầng khí quyển, tầng điện ly...

Về cơ bản, GPS là một hệ thống xác định khoảng cách 1 chiều, được chia làm 3 bộ phận chính (hình 2.10): bộ phận trên không gian, bộ phận điều khiển, và bộ phận sử dụng bao gồm nhiều loại máy thu.

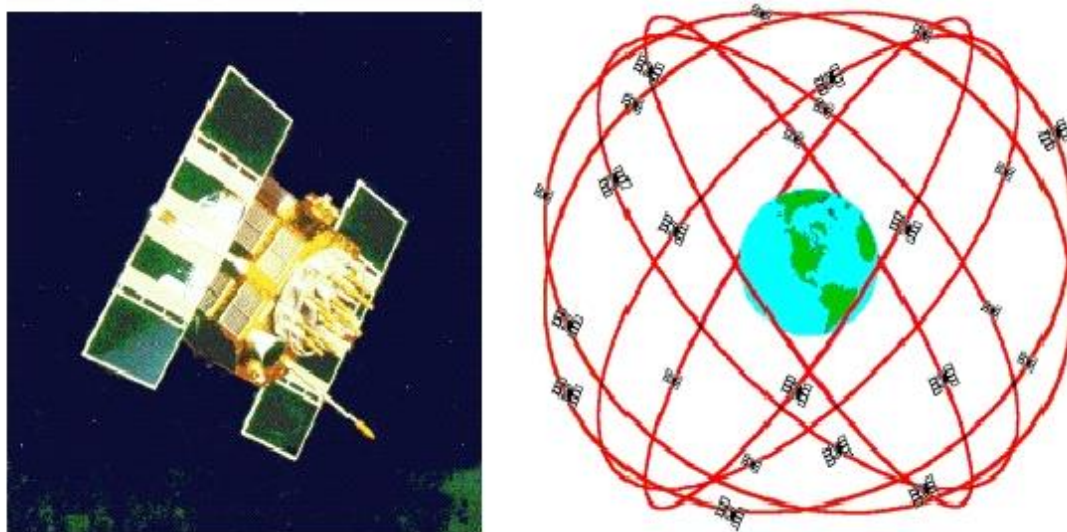


Hình 2.10, Các bộ phận trong hệ thống GPS.

(<https://www.elprocus.com/gps-based-voice-alert-system-for-blind-people/>)

2.2.1.1 Bộ phận không gian

Bộ phận hoạt động trên không gian của hệ thống GPS chính là các vệ tinh, bộ phận này có từ 24 đến 32 vệ tinh được sắp xếp bay trong 6 mặt phẳng quỹ đạo nghiêng khoảng 55° so với mặt phẳng xích đạo của Trái Đất và cách đều nhau một góc 60° trên xích đạo. Các quỹ đạo vệ tinh là gần tròn, với một nửa trục chính khoảng 26600 km, tương ứng với độ cao xấp xỉ 20200 km trên bề mặt Trái Đất (hình 2.11).



Hình 2.11, Vệ tinh GPS và quỹ đạo bay trong 6 mặt phẳng nghiêng 55°
(<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>).

Vệ tinh GPS đầu tiên được chế tạo và phóng thành công vào ngày 22 tháng 2 năm 1978. Đến ngày 8 tháng 12 năm 1993, chòm 24 vệ tinh đã đi vào hoạt động đầy đủ, cả chòm vệ tinh hoạt động liên tục mọi thời điểm trong ngày đảm bảo rằng tại bất kỳ thời điểm nào ở bất kỳ vị trí nào trên hoặc gần mặt đất có thể nhìn thấy ít nhất 4 vệ tinh. Hiện nay chòm vệ tinh của hệ thống GPS có tổng cộng 32 vệ tinh hoạt động liên tục như được chỉ ra trong bảng 2.2. Hình 2.12 chỉ ra vết các vệ tinh nhìn thấy trên mặt đất, với mật độ dày đặc và chu kỳ vòng quay quỹ đạo mỗi vệ tinh là khoảng 11 giờ 58 phút, gần như đúng một nửa ngày thiên văn, đảm bảo tại mỗi vị trí trên Trái Đất có thể nhìn thấy ít nhất là 4 vệ tinh. Do chu kỳ quỹ đạo là bội chính xác của chu kỳ quay của Trái Đất, nên các vệ tinh hoàn thành hai vòng quay quỹ

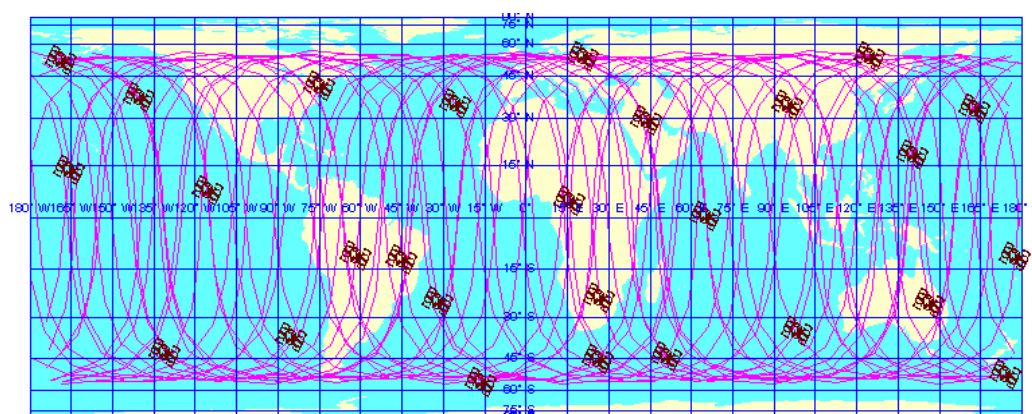
đạo trong khi Trái Đất quay được một góc 360° so với không gian quán tính. Tuy nhiên, các vệ tinh xuất hiện ở một vị trí sớm hơn khoảng 4 phút ở mỗi ngày mặt trời.

Bảng 2.2 Tổng số vệ tinh GPS và tình trạng hoạt động

(<http://www.insidegnss.com/node/918>)

(số liệu được cập nhật đến ngày 13/6/2014)

| Tên nhóm vệ tinh | Thời gian Phóng | Vệ tinh phóng | | | | Vệ tinh đang bay trên quỹ đạo và tình trạng hiện nay |
|------------------|-----------------|---------------|------|----------------|----------|--|
| | | Thành công | Hỏng | Chuẩn bị phóng | Kế hoạch | |
| I | 1978–1985 | 10 | 1 | 0 | 0 | Không còn hoạt động |
| II | 1989–1990 | 9 | 0 | 0 | 0 | Không còn hoạt động |
| IIA | 1990–1997 | 19 | 0 | 0 | 0 | 3 vệ tinh hoạt động |
| IIR | 1997–2004 | 12 | 1 | 0 | 0 | 12 vệ tinh hoạt động |
| IIR-M | 2005–2009 | 8 | 0 | 0 | 0 | 7 vệ tinh hoạt động |
| IIF | Từ 2010 | 9 | 0 | 3 | 0 | 9 vệ tinh hoạt động |
| IIIA | Từ 2016 | 0 | 0 | 0 | 12 | Chưa phóng |
| IIIB | - | 0 | 0 | 0 | 8 | Chưa phóng |
| IIIC | - | 0 | 0 | 0 | 16 | Chưa phóng |
| Tổng số | | 67 | 2 | 3 | 36 | 32 |



Hình 2.12, Vết các vệ tinh GPS trên mặt đất.

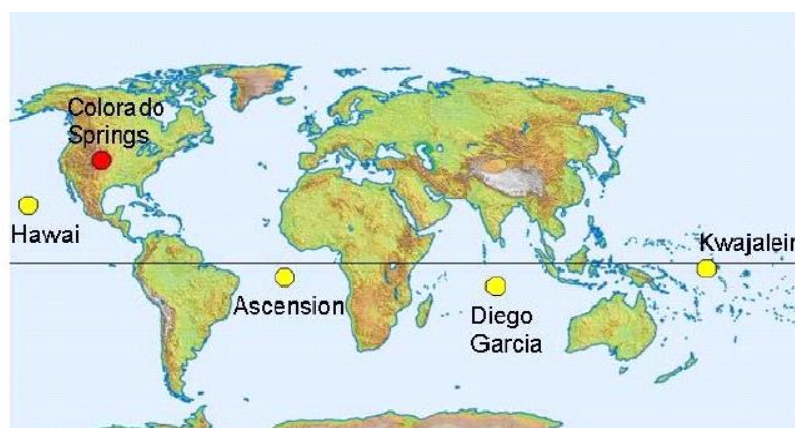
(http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

Ngoài hệ thống định vị toàn cầu của Mỹ, Liên Xô (nay là Nga) cũng phát triển một hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu có tên gọi GLONASS (GLOBAL Navigation Satellite System), có các đặc tính tương tự, hiện tại có 28 vệ tinh hoạt

động. Liên minh Châu Âu cũng đang phát triển hệ thống vệ tinh dẫn đường mang tên Galileo, hiện tại có 6 vệ tinh đang hoạt động và dự kiến có khoảng 30 vệ tinh hoạt động vào năm 2019. Tiếp đến là Trung Quốc đang phát triển hệ thống vệ tinh dẫn đường mang tên BeiDou, đã có 14 vệ tinh hoạt động và dự kiến có khoảng 35 vệ tinh hoạt động bao phủ toàn cầu vào năm 2020. Tên gọi chung cho các hệ thống vệ tinh này là hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (Global Navigation Satellite System - GNSS).

2.2.1.2 Bộ phận điều khiển

Bộ phận điều khiển gồm 4 trạm điều khiển và 1 trạm chủ. Trạm chủ được đặt ở Colorado Springs, Hoa Kỳ. Bốn trạm điều khiển được đặt ở Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, (hình 2.13). Hệ thống các trạm điều khiển sử dụng ăng-ten mặt đất, đảm bảo cho các vệ tinh bay đúng quỹ đạo, thực hiện việc đồng bộ thời gian cho các đồng hồ nguyên tử, lịch thiên văn trên mỗi vệ tinh, cũng như cập nhật được “thời tiết không gian”.



Hình 2.13, Các trung tâm điều khiển GPS.

2.2.1.3 Bộ phận sử dụng

Các máy thu GPS chính là bộ phận sử dụng trong hệ thống GPS. Ngày nay, các máy thu GPS được sử dụng rộng rãi trên khắp thế giới với nhiều loại máy thu khác nhau, máy thu GPS thu nhận thông tin từ các vệ tinh sẽ cung cấp cho người dùng vị trí, vận tốc di chuyển, thời gian thực... Phần khúc người dùng bao gồm một số lượng người dùng Mỹ và đồng minh quân sự của Dịch vụ GPS định vị chính xác, và rất nhiều người sử dụng phục vụ cho mục đích dân sự: thương mại, nghiên cứu khoa học. Một vài ứng dụng nổi bật của công nghệ GPS có thể được kể đến như

sau:

- Cung cấp thang thời gian chuẩn toàn cầu phục vụ đồng bộ hệ thống năng lượng, viễn thông, ngân hàng...
- Định vị dẫn đường trong không gian ba chiều, sử dụng để làm hoa tiêu trong hàng không, đường thủy và cả vận tải đường bộ.
- Xác định vị trí chính xác, được sử dụng trong trắc địa, nghiên cứu chuyển động kiến tạo của vỏ Trái Đất.
- Ứng dụng trong nghiên cứu hàm lượng hơi nước trong tầng đối lưu, nghiên cứu tầng điện ly... cung cấp những thông tin rất hữu ích trong nghiên cứu khí tượng, truyền thông, thời tiết không gian.

2.2.2 Tín hiệu GPS

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 L_1 và L_2 tương ứng với hai tần số GPS là f_1 và f_2 (hình 2.14). Hai tần số mang này được rút ra từ tần số cơ bản $\nu_0 = 10,23 \text{ MHz}$: $f_1 = 154 \nu_0 = 1575,42 \text{ MHz}$; $f_2 = 120 \nu_0 = 1227,60 \text{ MHz}$. Tương ứng là 2 bước sóng $\lambda_1 = c / f_1 = 190 \text{ mm}$, $\lambda_2 = c / f_2 = 244 \text{ mm}$, với c là vận tốc ánh sáng trong chân không bằng $299\,792\,458 \text{ m/s}$. Một số vệ tinh GPS phóng từ năm 2010 được bổ sung thêm sóng mang L_5 có tần số phát $f_5 = 1,17645 \text{ GHz}$. Hai sóng mang liên kết L_1 và L_2 được sử dụng để loại bỏ ảnh hưởng của nguồn sai số như khúc xạ do tầng điện ly, là một trong những mục đích chính đề cập tới trong luận án này.

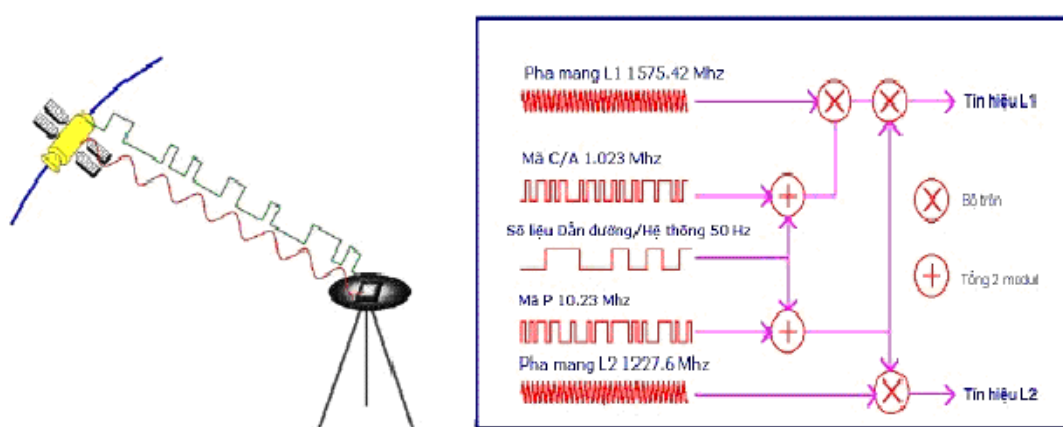
Có hai mã nhiễu giả ngẫu nhiên (PRN) được điều biến trên hai sóng mang cơ bản được phát ra trong quá trình truyền:

+ Mã thứ nhất là mã C/A có thể dùng cho mục đích dân sự. Mã C/A, được chỉ định như phục vụ định vị chuẩn (SPS), có bước sóng hiệu dụng xấp xỉ 300m. Mã C/A là một mã lặp lại nhiễu giả ngẫu nhiên tần số 1,023 MHz. Mã C/A hiện nay được điều biến chỉ ở tần số f_1 và được loại bỏ một cách có chủ ý khỏi tần số f_2 .

+ Mã thứ hai là mã P (mã chính xác) dành riêng cho quân đội Mỹ và những người sử dụng được phép khác. Mã P, được chỉ định phục vụ định vị chính xác (Precision Positioning Service-PPS), có bước sóng hiệu dụng là 30m, có tần số 10,23

MHz. Mã P (P_1 và P_2) được điều biến trên cả hai sóng mang L_1 và L_2 . Để ngăn chặn không cho những người sử dụng dân sự dùng đầy đủ tính năng của hệ thống, thì chế độ hoạt động chống giả mạo tín hiệu (Anti-Spoofing - AS) đã được sử dụng từ 31 tháng 1 năm 1993. Mã P_1 được viết lại dưới dạng mật mã chuyển thành mã Y và chỉ sử dụng được khi người dùng có khóa mở mật mã, chỉ còn mã C/A và mã P_2 được sử dụng rộng rãi.

Bên cạnh mã PRN, tín hiệu còn được điều chế bởi bản tin định vị chứa thông tin về trạng thái vệ tinh, độ lệch đồng hồ vệ tinh, và lịch thiên văn vệ tinh được điều biến trên cả hai sóng mang.

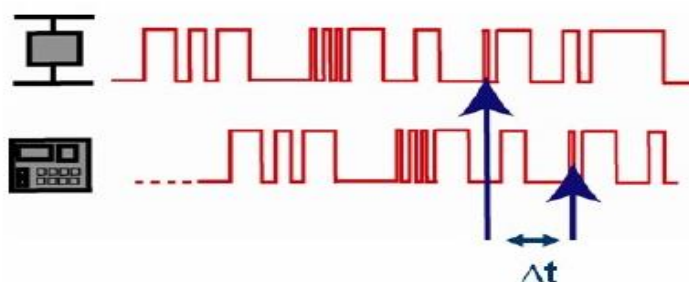


Hình 2.14 Tín hiệu GPS

(<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>)

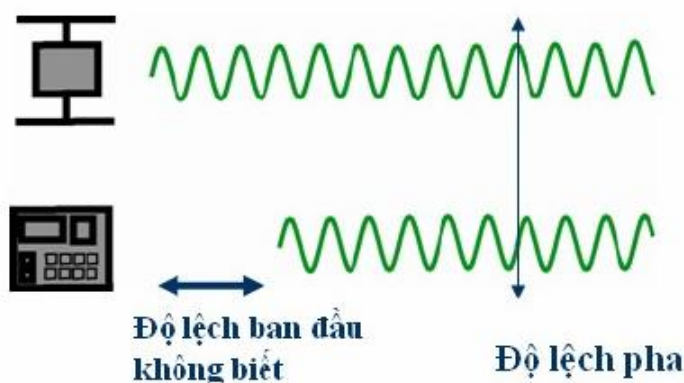
Về nguyên tắc, GPS là một hệ thống đo khoảng cách một chiều. Tín hiệu được phát ra bởi một vệ tinh và thu được bởi một máy thu phù hợp. Thực chất, quan sát GPS là đo thời gian truyền tín hiệu từ vệ tinh tới máy thu. Do sự thiếu đồng bộ của đồng hồ máy thu, người ta không thể suy ra một cách trực tiếp khoảng cách từ phép đo, do đó khoảng cách đo được gọi là giả khoảng cách.

Trong nghiên cứu GPS, phép đo giả khoảng cách là phép đo rất được quan tâm, nếu sử dụng mã C/A (giả tần số 1,023 MHz) độ chính xác khoảng 30m. Còn nếu sử dụng mã P (giả tần số 10,23 MHz) độ chính xác đạt tới 10m, một lưu ý rằng, độ rộng xung càng nhỏ cho độ chính xác càng cao (hình 2.15).



Hình 2.15, Thời gian truyền tín hiệu giữa vệ tinh và máy thu GPS.

Với phép đo pha, độ chính xác có thể đạt tới 2 mm trên cả L_1 hoặc L_2 [48], nhưng có một khó khăn gặp phải là không biết được độ lệch pha ban đầu (hình 2.16).



Hình 2.16, Phép đo pha trong nghiên cứu GPS.

2.2.3 Khả năng quan sát của GPS

Các kiểu quan sát của các máy thu GPS tùy thuộc vào khả năng kỹ thuật của các loại máy thu khác nhau. Các kiểu máy thu tần số đơn chỉ có thể thu được trên tín hiệu L_1 , trong khi đó những máy thu hai tần số có thể thu được cả hai tín hiệu L_1 và L_2 . Nhưng trong bất kỳ trường hợp nào các quan sát GPS đều thu được ba thông tin được gọi là: giả khoảng cách, pha sóng mang và độ dịch tần số Doppler.

2.2.3.1 Giả khoảng cách (code)

Tín hiệu mã C/A, mã P hoặc mã hóa Y được phát ra bởi vệ tinh k tại thời điểm t^k và được thu bởi máy thu i tại thời điểm t_i được xác định như sau:

$$P_i^k = c(t_i - t^k) = c\tau_i^k \quad (2.11)$$

trong đó P_i^k là giả khoảng cách (quan sát mã hóa) được biểu thị bằng đơn vị độ dài; c là vận tốc ánh sáng trong chân không; t_i là thời gian tới (quan sát) của tín hiệu, đo

bởi đồng hồ máy thu i ; t^k là thời gian phát tín hiệu, đo được trong hệ quy chiếu thời gian của vệ tinh k ; $\tau_i^k = t_i - t^k$ là thời gian truyền tín hiệu không kể sai số của đồng hồ vệ tinh và của máy thu.

Giả khoảng cách P_i^k có thể liên quan tới khoảng nghiêng ρ_i^k , khoảng cách hình học giữa máy thu i tại thời điểm $t_i - \Delta t_i$ và vệ tinh k tại thời điểm $t^k - \Delta t^k$, và sự trễ gây bởi tầng khí quyển của Trái Đất. Vì vậy giả khoảng cách trong phương trình (2.11) được viết lại như sau:

$$P_i^k = \rho_i^k + c(\Delta t_i - \Delta t^k) + \Delta \rho_{i,trop}^k + \Delta \rho_{i,ion}^k + c(b^k + b_i) + \varepsilon \quad (2.12)$$

trong đó, ρ_i^k là khoảng cách thực từ vệ tinh thứ k đến máy thu thứ i ; Δt_i , Δt^k là các độ lệch của đồng hồ máy thu và đồng hồ vệ tinh so với thời gian của hệ thống GPS; $\Delta \rho_{i,trop}^k$ là độ trễ của tín hiệu do tầng đối lưu (hoặc tầng khí quyển trung hòa); $\Delta \rho_{i,ion}^k$ là độ trễ của tín hiệu do tầng điện ly; b^k , b_i là các độ trễ do phân cứng của máy thu và của vệ tinh được biểu thị bằng đơn vị thời gian; c là vận tốc ánh sáng trong chân không; ε là sai số ngẫu nhiên, trong đó bao gồm cả sai số do hiệu ứng nhiễu đường truyền của tín hiệu.

2.2.3.2 Quan sát pha mang (Carrier phase)

Quan sát pha mang là phép đo pha của tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu, viết lại phương trình quan sát (2.12) tương ứng cho quan sát pha mang ta có:

$$L_i^k = \rho_i^k + c(\Delta t_i - \Delta t^k) + \Delta \rho_{i,trop}^k - \Delta \rho_{i,ion}^k + \lambda B_i^k + \varepsilon \quad (2.13)$$

trong đó L_i^k là quan sát pha mang, được biểu thị bằng đơn vị độ dài; ρ_i^k là khoảng cách thực từ vệ tinh thứ k đến máy thu thứ i ; λ là bước sóng tương ứng, c là vận tốc ánh sáng trong chân không; B_i^k là ký hiệu độ lệch không đổi, được biểu thị bằng vòng quay, về nguyên tắc chứa giá trị không xác định pha mang ban đầu N_i^k . Nói một cách chặt chẽ, λB_i^k chứa $\lambda(N_i^k + \delta N_i^k) + c(b^k + b_i)$, trong đó, N_i^k là số nguyên và δN_i^k ký hiệu cho sự ảnh hưởng gây bởi “pha kết thúc”. Tuy nhiên, người ta không thể tách N_i^k khỏi b^k và b_i và vì vậy phải thay thế bằng λB_i^k trong đó B_i^k bây giờ là một số thực. Trong trường hợp tổng quát, một tham số độ lệch chưa biết B_i^k phải được xác định cho mỗi lần vệ tinh đi qua, cho mỗi máy thu và mỗi tần số. So sánh các phương trình (2.12) và (2.13), người ta thấy rằng độ trễ nhóm và sự sớm pha gây bởi sự khúc xạ điện ly $\Delta \rho_{i,ion}^k$ có độ lớn bằng nhau nhưng ngược dấu.

2.2.3.3 Quan sát Doppler

Tần số Doppler là hệ số thay đổi khi quan sát pha mang, nó phản ánh quan hệ vận tốc giữa máy thu và vệ tinh GPS. Thông tin này có thể sử dụng khi tính vị sai vận tốc. Phương trình biểu diễn tương tự như phương trình quan sát pha mang nhưng không bao hàm hệ số chứa tham số không xác định ban đầu là:

$$\varphi_i^k = \rho_i^k + c(\Delta t_i - \Delta t^k) + \Delta\rho_{i,trop}^k - \Delta\rho_{i,ion}^k + \varepsilon \quad (2.14)$$

trong đó, φ_i^k là hệ số pha của pha mang, được biểu thị bằng đơn vị độ dài. Các tham số còn lại tương tự như trong phương trình (2.13).

Các phương trình (2.12), (2.13) và (2.14), biểu diễn các phương trình quan sát GPS cơ bản, chúng cho thấy khả năng ứng dụng “đa ngành” của GPS:

+ Khoảng nghiêng ρ_i^k chứa đựng thông tin “hình học” cho phép xác định vị trí các máy thu, các quỹ đạo vệ tinh, các độ lệch và các biến đổi tâm pha ăng-ten.

+ Các số hạng Δt^k và Δt_i chứa đựng thông tin liên quan tới đồng hồ máy thu và đồng hồ vệ tinh, cho phép chuyển đổi thời gian và tần số sang khoảng cách có tính liên lục địa.

+ Các số hạng $\Delta\rho_{i,trop}^k$ và $\Delta\rho_{i,ion}^k$ chứa đựng thông tin về tầng đối lưu và tầng điện ly.

Trong phần sau của luận án, chúng tôi cũng chỉ tập trung vào khai thác số hạng $\Delta\rho_{i,ion}^k$, chứa thông tin về tầng điện ly, là một trong số ứng dụng quan trọng của công nghệ GPS trong nghiên cứu tầng điện ly của Trái Đất.

2.2.4 Các nguồn lỗi của tín hiệu GPS

Ngoài nguyên nhân chủ quan do chính phủ Mỹ sử dụng mã P, để phục vụ mục đích quân sự, còn có những nguyên nhân khác ảnh hưởng tới tín hiệu GPS. Các nguồn gây ra sai số trên tín hiệu có thể phân thành 3 nhóm: lỗi liên quan đến vệ tinh, lỗi gây ra do máy thu, và lỗi liên quan đến môi trường truyền tín hiệu. Lỗi liên quan đến vệ tinh bao gồm sai số do đồng hồ vệ tinh và sai số do quỹ đạo vệ tinh. Lỗi liên quan đến máy thu bao gồm sai số do độ lệch tâm pha Ăng-ten, sai số đồng hồ máy thu, nhiễu. Lỗi liên quan đến đường truyền bao gồm độ trễ gây bởi tầng đối lưu và tầng điện ly, hiệu ứng đa đường truyền, nhiễu. Tổng hợp các nguồn lỗi này

và mức độ ảnh hưởng tương ứng được chỉ ra trong bảng 2.3.

Bảng 2.3 Mô hình sai số chuẩn cho mã C/A [70]

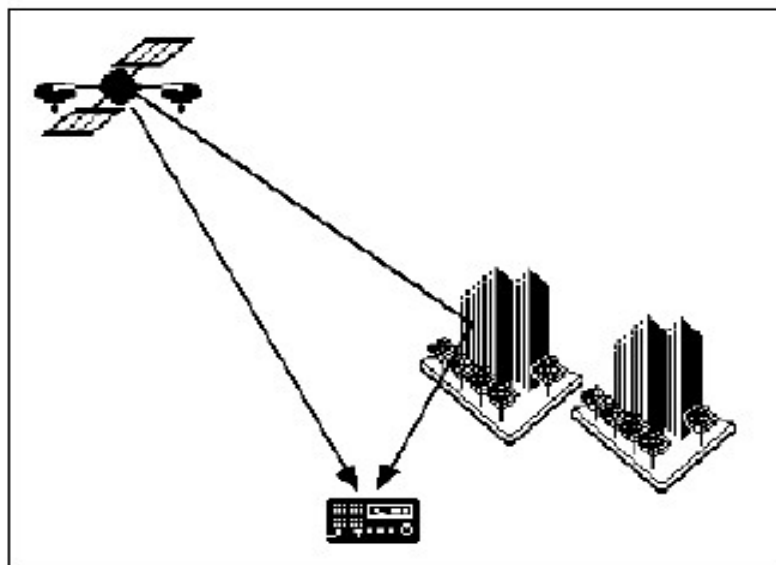
| Nguồn sai số | Sai số (m) |
|--|------------|
| 1, Vệ tinh: | |
| - Độ lệch đồng hồ vệ tinh | 2,1 |
| - Sai số quỹ đạo vệ tinh | 2,1 |
| 2, Máy thu: | |
| - Độ lệch tâm pha Ăng-ten, nhiều... | 0,5 |
| 3, Môi trường truyền: | |
| - Hiệu ứng đa đường truyền | 1,4 |
| - Khúc xạ gây bởi tầng đối lưu | 0,7 |
| - Khúc xạ gây bởi tầng điện ly | 4,0 |

Độ lệch đồng hồ vệ tinh: Đồng hồ nguyên tử gắn trên vệ tinh thường bị chi phối bởi nhiễu và gây ra các sai số trễ. Các tín hiệu truyền về thường chứa đựng thông tin hiệu chỉnh cho các sai số này và đánh giá mức độ chính xác của đồng hồ vệ tinh. Tuy nhiên các giá trị này lại được dự báo dựa trên những quan sát trước đó và có thể không cho ta biết được trạng thái hiện tại của đồng hồ vệ tinh như thế nào.

Sai số quỹ đạo vệ tinh: Cũng được biết như lỗi thiên văn, do vệ tinh thông báo vị trí không chính xác.

Sai số do máy thu: sự chính xác của tín hiệu thu nhận cũng phụ thuộc vào loại máy thu, môi trường đặt máy, độ chính xác đồng hồ, phần mềm sử dụng, hay độ lệch tâm pha ăng-ten: Tâm pha của ăng-ten là điểm mà tại đó tín hiệu radio được đo và thông thường không đồng nhất với tâm của ăng-ten về phương diện hình học. Độ lệch phụ thuộc vào góc nhìn vệ tinh, góc phương vị, và cường độ tín hiệu vệ tinh, và khác nhau đối với tần số f_1 và f_2 .

Hiệu ứng đa đường truyền: Trong GPS, hiện tượng đa đường truyền xuất hiện khi tín hiệu phát từ vệ tinh bị va đập vào các tòa nhà, bờ tường hay các dạng địa hình khác trước khi đến ăng-ten thu (hình 2.17).



Hình 2.17, Hiệu ứng đa đường truyền trong quan sát GPS (<https://www.google.com.vn/search?q=multipath+gps>).

Các tín hiệu này mất nhiều thời gian đến ăng-ten thu hơn là được truyền theo đường thẳng. Kết quả là nhiều bản sao của một tín hiệu xuất hiện tại ăng-ten thu. Tín hiệu thực được ghi lại sẽ là tổng của nhiều bản sao đó. Không có một mô hình chuẩn trong hiệu ứng đa đường truyền, sai số do hiện tượng này ở mỗi máy thu là khác nhau, có tính đặc thù riêng do yếu tố địa hình ảnh hưởng. Tuy nhiên ảnh hưởng của hiệu ứng này có thể được ước lượng bằng cách tổ hợp các phép đo giá khoảng cách và pha mang trên hai tín hiệu L_1 , L_2 . Nguyên lý này dựa trên thực tế là sai số do đồng hồ, do tầng đối lưu và các một số hiệu ứng khác ảnh hưởng đến mã và pha mang có tổng giống nhau. Điều này không còn đúng đối với sự phản xạ trên tầng điện ly và hiệu ứng đa đường truyền là độc lập tần số.

Sai số gây bởi tầng đối lưu: Tín hiệu GPS không truyền với vận tốc ánh sáng trong chân không khi truyền qua vùng này. Sự sai lệch vận tốc truyền sóng radio thay đổi theo nhiệt độ, áp suất và độ ẩm trong tầng đối lưu. Cả quan sát giá khoảng cách code và quan sát giá khoảng cách pha đều có độ trễ giống nhau khi đi qua vùng này.

Sai số gây bởi tầng điện ly : Do có sự tồn tại các điện tử tự do trong tầng điện ly, gây ra sự trễ nhóm và sự sớm pha tín hiệu vệ tinh GPS khi truyền qua. Mức độ ảnh hưởng phụ thuộc vào số lượng điện tử tổng cộng dọc theo đường tia hay phụ

thuộc vào nghịch đảo bình phương tần số sóng. Đây có thể được coi là nguồn gây nhiễu đối với các ứng dụng xác định vị trí chính xác nhưng lại là thông tin quan trọng trong nghiên cứu đặc trưng của tầng điện ly.

Tiếp sau đây, nghiên cứu sinh chỉ tập trung vào thảo luận chi tiết về ảnh hưởng của tầng điện ly lên tín hiệu GPS khi truyền từ vệ tinh tới các máy thu trên mặt đất.

2.2.5 Ảnh hưởng của tầng điện ly lên tín hiệu GPS

Tầng điện ly có thể được coi là nguồn gây ra sai số đáng kể nhất lên độ chính xác trong phép định vị dẫn đường. Sai số khoảng cách gây bởi tầng điện ly có thể thay đổi từ một vài mét cho đến vài chục mét tại thiên đỉnh. Tầng điện ly là một môi trường tán xạ sóng radio, chỉ số khúc xạ là một hàm của tần số sóng, và hai tần số GPS sử dụng cũng bị tác động trực tiếp bởi tầng điện ly. Không giống như tầng đối lưu, mật độ điện tử trong tầng điện ly có thể thay đổi rất nhanh về giá trị tuyệt đối. Mặc dù sai số về khoảng cách gây ra bởi tầng đối lưu thường không thay đổi trong khoảng $\pm 10\%$, kể cả trong khoảng thời gian dài, trong khi đó sai số gây bởi tầng điện ly thay đổi thường ít nhất một bậc biên độ trong tiến trình ngày đêm. Các ảnh hưởng chính của tầng điện ly lên tín hiệu GPS có thể kể đến như: Sự trễ nhóm hay sai số khoảng cách tuyệt đối, sự sớm pha hay sai số khoảng cách tương đối, sự trôi dạt Doppler hay sai số về khoảng cách liên quan đến dịch chuyển, và nhấp nháy tín hiệu. Tham số của tầng điện ly gây ra hầu hết các ảnh hưởng lên tín hiệu GPS là tổng số các điện tử trong tầng điện ly, thường gọi là nồng độ điện tử tổng cộng (TEC). Chi tiết về biến đổi của TEC khu vực Việt Nam sẽ được trình bày trong chương 3 của luận án.

Cơ sở phân tích các ảnh hưởng trên có liên quan đến chỉ số khúc xạ của tầng điện ly. Chỉ số này đã được nêu trong mục 2.1.3 của luận án, việc tìm hiểu về chỉ số khúc xạ có thể cho chúng ta suy ra được các ảnh hưởng lên tín hiệu GPS khi truyền qua tầng điện ly.

2.2.5.1 Sự trễ nhóm – sai số khoảng cách tuyệt đối

Sự trễ nhóm tín hiệu gây ra bởi tầng điện ly khi truyền qua nó sẽ phát sinh

sai số về khoảng cách khi đo, nó có thể được biểu diễn theo đơn vị khoảng cách hoặc theo đơn vị thời gian trễ tùy theo nhu cầu của người sử dụng. Sự trễ nhóm liên quan đến chỉ số khúc xạ trong môi trường điện ly do có sự xuất hiện các điện tử tự do, được tính theo công thức sau:

$$\Delta t = \frac{1}{c} \int (1 - n) dl \quad (2.15)$$

hay
$$\Delta r = \int (1 - n) dl \quad (2.16)$$

trong đó Δt , Δr là độ trễ nhóm tính theo đơn vị thời gian và khoảng cách, c là vận tốc ánh sáng trong chân không, n là chỉ số khúc xạ trong tầng điện ly tính theo công thức (2.9). Vì chúng ta chỉ xem xét quá trình truyền sóng radio tại tần số GPS, nên các số hạng X , Y_T , Y_L và Z trong phương trình (2.9) nhỏ hơn 1 rất nhiều. Do đó chỉ số khúc xạ của tầng điện ly tại tần số GPS có thể biểu diễn như sau [48, 70, 79]:

$$n = 1 - \frac{X}{2} \pm \frac{XY}{2} \cos \theta - \frac{X^2}{8} \quad (2.17)$$

phân tích các số hạng trong phương trình (2.17) ta thấy rằng với các số hạng bậc cao như: $(XY/2) \cos \theta \sim (1/f^3)$; $(X^2/8) \sim (1/f^6)$, với f là tần số GPS sẽ rất nhỏ, nên có thể bỏ qua. Do vậy, chỉ số khúc xạ của tầng điện ly tại tần số GPS có thể biểu diễn một cách đơn giản như sau:

$$n = 1 - \frac{X}{2} \quad (2.18)$$

trong đó $X = \frac{40,3}{cf^2} \int N_e dl$, N_e là mật độ điện tử tính bằng e/m^3 , và độ trễ nhóm gây bởi tầng điện ly được tính như sau:

$$\Delta t = \frac{40,3}{cf^2} \int N_e dl, \text{ (giây)} \quad (2.19)$$

Đại lượng $\int N_e dl$ là TEC, nồng độ điện tử tổng cộng dọc theo đường tia sóng từ máy thu đến vệ tinh.

Đối với máy thu hai tần số f_1 và f_2 thì sự sai khác độ trễ nhóm gây ra bởi hai tần số được biểu diễn như sau:

$$\delta(\Delta t) = \frac{40,3}{c} TEC \left[\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right] = \Delta t_1 \left[\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_2^2} \right] \quad (2.20)$$

hay
$$\Delta t_1 = \frac{f_1^2 - f_2^2}{f_2^2} \delta(\Delta t_1) \quad (2.21)$$

trong đó Δt_1 là độ trễ thời gian gây bởi tầng điện ly tại tín hiệu L_1 . Đại lượng $[(f_1^2 - f_2^2) / f_2^2]$ được gọi là yếu tố tỷ lệ điện ly. Đối với hai tần số GPS thì yếu tố này là 1,546. Nếu hai tần số GPS được chọn quá gần nhau thì hiệu độ trễ về thời gian gây bởi tầng điện ly giữa hai tần số sẽ rất nhỏ, do vậy sẽ bị lẫn vào mức nhiễu của hệ thống máy thu. Khi sự phân tách của tần số trên tín hiệu L_1 và L_2 rộng hơn thì khả năng đánh giá sai số khoảng cách gây bởi tầng điện ly sẽ chính xác hơn nhưng đòi hỏi phải có hai ăng-ten phát và thu riêng biệt. Vì vậy việc lựa chọn hai tần số GPS để thu được yếu tố tỷ lệ điện ly là 1,546 là một sự nghiên cứu để xấp đặt giữa thiết kế phần cứng của hệ thống và yêu cầu về thông tin độ trễ thời gian do tầng điện ly. Mặc dù độ trễ Δt_1 bằng 1,546 lần hiệu độ trễ của cả hai tần số có liên quan đến nhiễu, nhưng thời gian trễ thu được từ hiệu giả khoảng cách có thể được lấy trung bình trong một khoảng thời gian nào đó, do vậy nó vẫn có thể đo được với độ chính xác đạt tới nano giây. Hạn chế trong phép đo hiệu giả khoảng cách tuyệt đối chủ yếu gây bởi yếu tố nhiễu đường và sự thiếu thông tin khi máy thu chỉ thu nhận tín hiệu từ một vệ tinh GPS.

2.2.5.2 Sự sớm pha – sai số khoảng cách tương đối

Khi tín hiệu radio truyền qua tầng điện ly, pha mang của tần số sóng truyền đi sẽ sớm hơn (nhanh hơn) so với vận tốc của nó trong chân không. Sự sớm pha liên quan đến chỉ số khúc xạ trong môi trường điện ly do có sự xuất hiện các điện tử tự do, được tính theo công thức sau [70]:

$$\Delta\phi = \frac{1}{\lambda} \int (1 - n) dl \quad , \text{vòng hay bước sóng} \quad (2.22)$$

Và được viết lại như sau:

$$\Delta\phi = \frac{f}{2c} \int X dl = \frac{40,3}{cf} \int N_e dl = \frac{1,34 \times 10^{-7}}{f} \int N_e dl \quad , \text{vòng} \quad (2.23)$$

Chú ý rằng mặc dù pha được truyền đi với vận tốc nhanh hơn vận tốc ánh sáng, nhưng nó không chứa đựng thông tin, do đó sự truyền tin cũng sẽ không xuất hiện nhanh hơn vận tốc của ánh sáng.

Trong trường hợp máy thu hai tần số, tín hiệu L_1 và L_2 được phát đi liên tục và hai tần số này cùng được rút ra từ một dao động chung 10,23 MHz. Độ lệch hiệu pha giữa hai tần số có thể đo được và liên quan đến TEC theo công thức sau:

$$\Delta\delta_\phi = \frac{1,34 \times 10^{-7}}{f} \times \frac{m^2 - 1}{m^2} \int N_e dl \quad , \text{ vòng} \quad (2.24)$$

trong đó $m = f_1/f_2$. Hiệu phép đo pha cung cấp một phép đo rất chính xác về những biến đổi TEC tương đối trong suốt đường truyền tín hiệu của vệ tinh, nhưng chúng ta không thể biết được chính xác số vòng pha ban đầu, do đó các giá trị TEC tuyệt đối thường thu được từ các phép đo hiệu độ trễ nhóm hay còn gọi là hiệu giá khoảng cách. Phương pháp tính giá trị TEC sẽ được trình bày chi tiết trong chương 3 của luận án.

Một số chuyển đổi hữu ích trong phép đo GPS liên quan đến nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly được chỉ ra trong bảng 2.4.

Bảng 2.4 Mối quan hệ giữa các tham số đo GPS và TEC tầng điện ly [70]

| L_2-L_1 , hiệu độ trễ nhóm |
|--|
| <p>360° tương đương với 151,098 ns độ trễ đo tại tín hiệu L_1, hoặc tương đương với 97,75 ns hiệu độ trễ nhóm</p> $360^\circ = 278,83 \times 10^{16} (el/m^2) ; 1^\circ = 0,7745 \times 10^{16} (el/m^2)$ |
| <p>1 ns của hiệu độ trễ nhóm</p> $= 2,852 \times 10^{16} (el/m^2)$ $= 1,546 \text{ ns của độ trễ tại } L_1$ $= 0,464 \text{ m sai số về khoảng cách tại } L_1$ |
| <p>1 ns độ trễ tại tín hiệu L_1</p> $= 1,8476 \times 10^{16} (el/m^2)$ $= 0,3 \text{ m sai số về khoảng cách tại } L_1$ |
| <p>1 vòng hay 1 bước sóng = 19,09 cm của độ sớm pha tại L_1</p> $= 1,173 \times 10^{16} (el/m^2)$ |
| <p>1 m của sai số khoảng cách</p> $= 6,15 \times 10^{16} (el/m^2) \text{ đo tại } L_1$ $= 3,73 \times 10^{16} (el/m^2) \text{ đo tại } L_2$ |

| |
|--|
| <p>1 TECu [1×10^{16} (el/m²)]</p> <p>= 0,351 ns của hiệu độ trễ nhóm</p> <p>= 0,542 ns của độ trễ nhóm tại L₁</p> <p>= 0,163 m của sai số khoảng cách tại L₁</p> <p>= 0,853 vòng của độ sớm pha tại L₁</p> |
| <p>L₂-L₁, Hiệu độ sớm pha tại L₂</p> |
| <p>$I^0 = 6,456 \times 10^{13}$ (el/m²)</p> <p>0,1 rad = $3,699 \times 10^{14}$ (el/m²)</p> <p>360⁰ = $2,324 \times 10^{16}$ (el/m²)</p> |

2.2.5.3 Sự trôi dạt Doppler-sai số khoảng cách do dịch chuyển điện ly

Do phân bố điện tử trong tầng điện ly không đồng nhất về không gian và có sự biến đổi theo thời gian, nên đã gây ra sự trôi dạt Doppler khi tín hiệu GPS truyền qua. Sự trôi dạt tần số Doppler gây bởi tầng điện ly thường rất nhỏ so với yếu tố trôi dạt Doppler hình học giữa máy thu và vệ tinh, và có thể được tính theo công thức sau [70]:

$$\Delta f = \frac{dn}{dt} = \frac{1,34 * 10^{-7}}{f} \frac{dTEC}{dt} \quad , \quad Hz \quad (2.25)$$

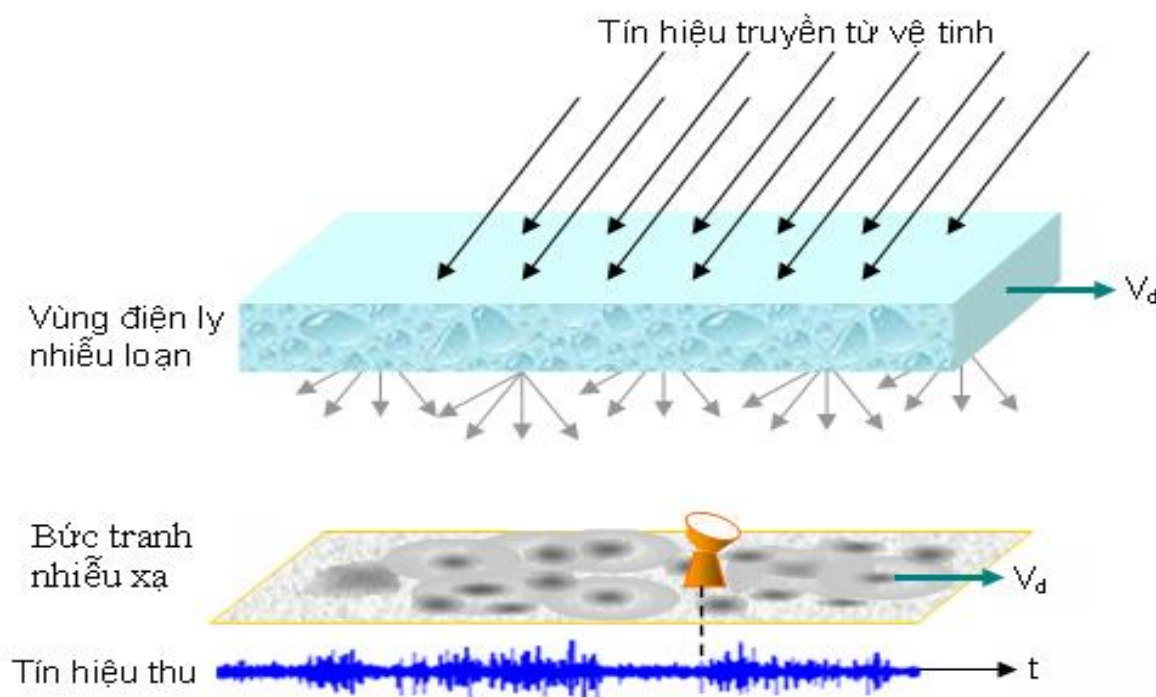
Đối với các vệ tinh bay trên quỹ đạo cao như vệ tinh GPS, chuyển động của vệ tinh khi quan sát từ Trái Đất là chậm, nên sự biến đổi ngày đêm của TEC thường lớn hơn biến đổi về yếu tố hình học của vệ tinh. Giới hạn trên của tốc độ thay đổi TEC đối với một trạm bất kỳ được tính là $\approx 0,1 \times 10^{16}$ (el/m²)/s. Giá trị này được gán thêm cho sự trôi dạt tần số là 0,085 Hz tại L₁, tương đương với sai số khoảng cách do dịch chuyển là 1,6 cm/s [70].

Sự trôi dạt Doppler điện ly được cho là do sự thay đổi theo thời gian của TEC. Sai số khoảng cách do dịch chuyển phụ thuộc vào tốc độ thay đổi ngày đêm của số lượng điện tử trong tầng điện ly, phụ thuộc vào cấu trúc của các mảng nhiễu loạn và phụ thuộc vào chuyển động của vật thể bay trong môi trường truyền tín hiệu vệ tinh.

2.2.5.4 Nhấp nháy tín hiệu

Khi tín hiệu vệ tinh GPS truyền qua một vùng nhiễu loạn mật độ điện tử qui mô nhỏ trong tầng điện ly có thể chịu một sự dao động nhanh về biên độ và pha,

hiện tượng này được gọi là nhấp nháy điện ly (Ionospheric Scintillation). Các nhiễu loạn gây ra các dao động thăng giáng tỷ lệ nhỏ trong chỉ số khúc xạ và tiếp đến là sự tán xạ (scattering) của mặt đầu sóng, phát sinh các dao động pha dọc theo mặt pha của tín hiệu như được minh họa trên hình 2.18.



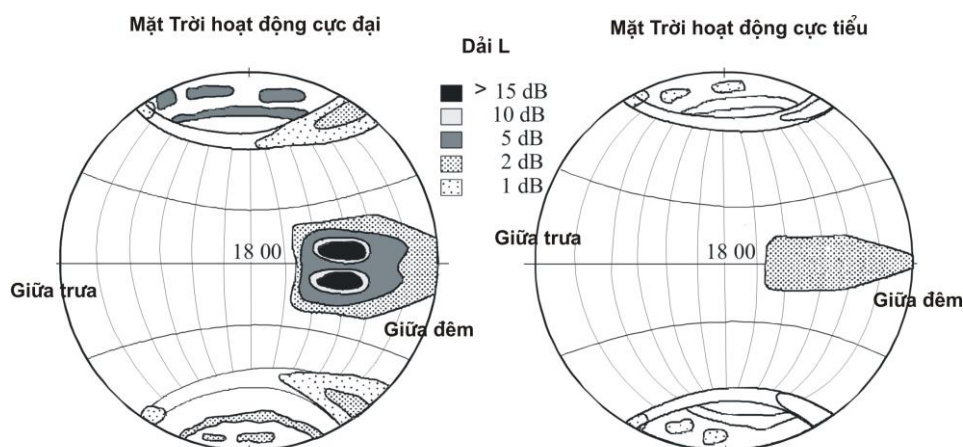
Hình 2.18, Nhấp nháy của tín hiệu vệ tinh khi truyền qua môi trường điện ly nhiễu loạn về mật độ điện tử.

Các nghiên cứu trước đây về quá trình truyền sóng radio trong môi trường nhiễu loạn ngẫu nhiên và các phân tích phổ nhấp nháy [50, 72, 94], cho thấy nhấp nháy pha xuất hiện tại tần số nhỏ hơn tần số Fresnel ($f_F = v/(\sqrt{2}D_F)$, trong đó v là vận tốc tương đối giữa dịch chuyển theo phương ngang của tia sóng và plasma, D_F là kích thước vùng Fresnel) bị gây ra bởi các nhiễu loạn có kích thước lớn hơn nhiều kích thước vùng Fresnel. Trong điều kiện như vậy, tín hiệu sóng radio được xem như yếu tố quang hình học, và dao động pha gây bởi sự thay đổi đường truyền quang học của sóng radio. Mặt khác đối với các nhiễu loạn có qui mô nhỏ hơn vùng Fresnel, hiệu ứng nhiễu xạ và tán xạ của sóng radio có thể gây ra nhấp nháy biên độ và nhấp nháy pha tại tần số lớn hơn tần số Fresnel. Trong trường hợp là tín hiệu vệ tinh GPS, qui mô vùng Fresnel của máy thu GPS hai tần số thay đổi từ 145 đến 310

m ($D_F = \sqrt{\lambda z}$, với λ là bước sóng radio, z độ cao lớp nhiễu loạn) đối với các nhiễu loạn ở độ cao từ 110 đến 400 km (vùng E và F tầng điện ly).

Theo một khía cạnh nào đó, nhấp nháy điện ly sẽ làm giảm độ chính xác trong phép định vị GPS. Dọc theo mỗi đường truyền vệ tinh-máy thu, sai số này được đưa vào các phép đo giả khoảng cách và pha mang. Biên độ nhấp nháy mạnh có thể gây ra sự sụt giảm công suất của tín hiệu xuống dưới ngưỡng máy thu và do đó gây ra sự mất tín hiệu trong thời gian quan sát. Pha nhấp nháy mạnh có thể gây ra sự trôi dạt Doppler trong tần số của tín hiệu thu nhận và đôi khi có thể gây ra sự mất pha tín hiệu của máy thu. Khi nhấp nháy trên đường truyền đủ mạnh thì đường truyền không liên tục và không có giá trị cho việc sử dụng trong lời giải định vị. Việc mất đi mỗi một đường truyền dẫn sẽ làm tăng giá trị DOP (dilution of precision) do đó sẽ ảnh hưởng lên độ chính xác trong phép định vị và khi có ít hơn 4 đường truyền được duy trì tại bất kỳ thời điểm nào sẽ gây ra sự mất tạm thời dịch vụ cung cấp thông tin định vị. Khoảng thời gian bị tạm ngừng (outages) phụ thuộc vào khoảng thời gian và mức độ dữ dội của nhấp nháy, phụ thuộc vào yếu tố hình học của vệ tinh và thời gian phục hồi của thiết bị.

Độ lớn của nhấp nháy phụ thuộc vào đặc trưng gradient của vùng dị thường mật độ, nếu vùng dị thường có gradient mật độ lớn sẽ gây ra nhấp nháy biên độ mạnh và ngược lại vùng có gradient mật độ nhỏ sẽ gây ra nhấp nháy biên độ yếu. Theo kết quả thống kê đã chỉ ra rằng, trạng thái bất đồng nhất điện tử trong môi trường điện ly thường gây ra hiện tượng nhấp nháy và chủ yếu xuất hiện trong lớp F của tầng điện ly tại độ cao trong khoảng từ 200 đến 1000km, tập trung nhiều trong khoảng độ cao từ 250 đến 400km. Các nhiễu loạn xuất hiện trong lớp E như *Sporadic-E* và lớp E vùng cực quang cũng có thể gây ra nhấp nháy nhưng ảnh hưởng của chúng lên các tín hiệu GPS dải L rất nhỏ. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng sự xuất hiện nhấp nháy điện ly phụ thuộc vào vĩ độ, chủ yếu xuất hiện trong vùng xích đạo và vùng vĩ độ cao và phụ thuộc vào mức độ hoạt động của Mặt Trời, thường mạnh hơn vào giai đoạn Mặt Trời hoạt động mạnh như được chỉ ra trên hình 2.19 [28, 70, 73, 94].



Hình 2.19, Sự suy giảm tín hiệu trên dải tần L trong giai đoạn Mặt Trời hoạt động mạnh (trái) và yếu (phải) (Parkinson, B. W., 1996 [70]).

Công nghệ GPS phát triển đã cung cấp một cách đơn giản và hữu hiệu để nghiên cứu các biến đổi về không gian và thời gian của tầng điện ly như: nồng độ điện tử tổng cộng, nhiễu loạn điện ly, nhấp nháy điện ly. Ứng dụng công nghệ GPS để nghiên cứu tầng điện ly ở Việt Nam sẽ được đề cập trong các chương tiếp theo của luận án.

CHƯƠNG 3. NỒNG ĐỘ ĐIỆN TỬ TỔNG CỘNG TẦNG ĐIỆN LY VÀ QUY LUẬT BIẾN ĐỔI THEO THỜI GIAN Ở KHU VỰC VIỆT NAM

Trong hơn hai thập kỷ qua, hệ thống định vị toàn cầu (GPS) đã đóng một vai trò quan trọng trong các ngành khoa học về Trái đất. Cùng với sự phát triển liên tục và sự đa dạng của các ứng dụng từ công nghệ GPS, các nhà nghiên cứu điện ly trên thế giới đã nhận thấy tiềm năng của mạng lưới theo dõi GPS để rút ra thông tin về tầng điện ly của Trái Đất. Mỗi vệ tinh GPS truyền thông tin được định vị trên hai tần số: f_1 (1,57542GHz) và f_2 (1,22760GHz), bằng cách phân tích sự khác nhau giữa các phép đo giả khoảng cách và sự khác nhau giữa các phép đo pha của hai tần số sẽ cho phép rút ra thông tin về nồng độ điện tử tổng cộng của tầng điện ly từ số liệu GPS hai tần số. Chương này sẽ giới thiệu phương pháp tính giá trị nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly từ số liệu GPS và ứng dụng phương pháp để tính và nghiên cứu cho tầng điện ly khu vực Việt Nam.

3.1 Số liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1.1 Số liệu

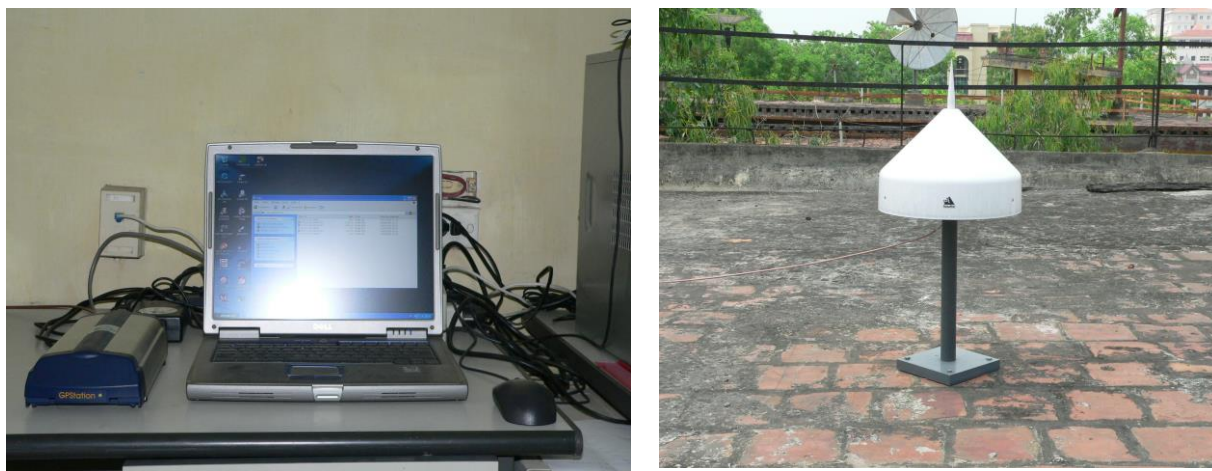
Ba máy thu GPS được đặt ở Việt Nam từ tháng 4 năm 2005 theo hợp tác với Pháp tại các địa điểm và tọa độ địa lý và vĩ độ từ niên đại 2010 được chỉ ra trong *bảng 3.1*.

Bảng 3.1, Vị trí các trạm thu GPS ở Việt Nam

| Tên trạm | Tọa độ địa lý | | Vĩ độ từ (N) (niên đại 2010) |
|----------------|---------------|-------------|---------------------------------|
| | Vĩ độ (N) | Kinh độ (E) | |
| Hà Nội | 21°02'50'' | 105°54'59'' | 14,37° |
| Huế | 16°27'33'' | 107°35'33'' | 9,45° |
| Tp Hồ Chí Minh | 10°50'54'' | 106°33'35'' | 3,34° |

Đây là các máy thu tín hiệu GPS hai tần số loại GSV4004 (GPS Silicon Valley's GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor system - GISTM) của hãng NovAtel. Mục đích chính của GSV4004 là thu thập số liệu về TEC và nhập nháy điện ly đối với tất cả các vệ tinh nhìn thấy. *Hình 3.1* là ảnh của hệ thống máy thu GSV4004 tại Việt Nam. Mỗi máy thu GSV4004 gồm ba bộ phận chính: anten

thu tín hiệu GPS, bộ thu và chuyển đổi số liệu, máy tính cá nhân để lưu và hiển thị số liệu.



Hình 3.1, Hình ảnh bộ máy thu GSV4004 ở Việt Nam.

Tại mỗi thời điểm quan sát, máy có thể thu nhận tối đa tới 11 tín hiệu vệ tinh GPS mã C/A và tự động xử lý cung cấp tệp số liệu đầu ra có định dạng nhị phân. Phần mềm đi kèm PARSEISMR [97] cho phép chuyển tệp số liệu đầu ra sang dạng ASCII cho từng vệ tinh quan sát, cung cấp các thông số liên quan đến TEC và nhấp nháy như được chỉ ra trong *bảng 3.2*.

Bảng 3.2: Các thông số thu nhận trực tiếp từ máy thu GSV4004

| STT | Tham số | Đơn vị đo |
|-----|--|------------------|
| 1 | Tuần GPS | N/A |
| 2 | Thời gian quan sát trong tuần (TOW) | Giây (s) |
| 3 | Vệ tinh PRN | N/A |
| 4 | Tình trạng máy thu | N/A |
| 5 | Góc phương vị (Azimuth) | Độ |
| 6 | Góc nhìn vệ tinh (Elevation) | Độ |
| 7 | Tỷ số tín hiệu/nhiều C/N ₀ | dB-Hz |
| 8 | Biên độ nhấp nháy tổng (S _{4T}) | Không thứ nguyên |
| 9 | Hiệu chỉnh biên độ nhấp nháy tổng (S _{4N₀}) | Không thứ nguyên |
| 10 | Pha nhấp nháy (Sigma pha) 1s | Radian |
| 11 | Pha nhấp nháy (Sigma pha) 3s | Radian |

| | | |
|----|--|--------|
| 12 | Pha nhấp nháy (Sigma pha) 10s | Radian |
| 13 | Pha nhấp nháy (Sigma pha) 30s | Radian |
| 14 | Pha nhấp nháy (Sigma pha) 60s | Radian |
| 15 | Trung bình của độ lệch Code/Carrier | Mét |
| 16 | Độ lệch chuẩn của độ lệch Code/Carrier | Mét |
| 17 | TEC tại thời gian TOW-45 | TECu |
| 18 | Δ TEC tại TOW-60 tới TOW-45 | TECu |
| 19 | TEC tại thời gian TOW-30 | TECu |
| 20 | Δ TEC tại TOW-45 tới TOW-30 | TECu |
| 21 | TEC tại thời gian TOW-15 | TECu |
| 22 | Δ TEC tại TOW-30 tới TOW-15 | TECu |
| 23 | TEC tại thời gian TOW | TECu |
| 24 | Δ TEC tại TOW-15 tới TOW | TECu |
| 25 | Thời gian kết nối tín hiệu L1 | Giây |
| 26 | Tình trạng kênh truyền | N/A |
| 27 | Thời gian kết nối tín hiệu L2 | Giây |
| 28 | Tỷ số tín hiệu nhiễu trên L2 | dB-Hz |

Tham số TEC: tại mỗi thời điểm phần mềm tự động tính toán và cho ra giá trị nồng độ điện tử tổng cộng theo đơn vị TECu ($1\text{TECu} = 10^{16} \text{ e/m}^2$) từ độ trễ gây bởi tầng điện ly giữa hai tần số f_1 và f_2 theo công thức [97] :

$$TEC = [9,483(P_{f_2} - P_{f_1} - \Delta_{C/A-P,PRN}) + TEC_{CAL}] \quad (3.1)$$

trong đó: P_{f_1} , P_{f_2} là các giả khoảng cách trên hai tần số f_1 và f_2 tính bằng mét (m), $\Delta_{C/A-P,PRN}$ là độ trễ đầu vào của vệ tinh giữa chuyển đổi mã C/A và mã P tính bằng m, và TEC_{CAL} là độ trễ bên trong máy thu và phần bù độ lệch hiệu chỉnh đầu vào. Các giá trị TEC được tự động tính trong khoảng thời gian 15 giây một giá trị.

Tham số Δ TEC: giá trị biến thiên TEC theo thời gian cũng được tính dựa trên phép đo pha tại hai tần số f_1 và f_2 . Đối với một phép đo độ trễ điện ly trên tần số f_1 , thì giá trị biến thiên TEC được tính theo công thức:

$$\Delta TEC = 1,1723 \cdot \Delta PR_{L1,carrier} \cdot TECu \quad (3.2)$$

trong đó $\Delta PR_{L1,carrier}$ là hiệu pha trên hai tần số :

$$\Delta PR_{L1,carrier} = 1,54573 \cdot (\Delta ADR_{L1} - \Delta ADR_{L2}), \text{ vòng}$$

hay $\Delta TEC = 1,812 \cdot (\Delta ADR_{L1} - \Delta ADR_{L2}), \text{ TECu} \quad (3.3)$

với ΔADR_{L1} , ΔADR_{L2} là hiệu pha trên tần số f_1 , f_2 tại hai thời điểm đo. Các phép đo biến thiên TEC cũng được tính trong khoảng thời gian 15 giây một giá trị.

Tham số Pha nhấp nháy: Máy thu tập hợp 50 phép đo pha thô mỗi giây. Các đo pha thô trước hết được lọc bằng bộ tần cao Butterworth bậc 6, sau đó đổi với mỗi phút, thống kê các phần dư (của 3000 phép đo pha đã được lọc) ở tất cả các phút được tính toán trên các chu kỳ : 1 giây, 3 giây, 10 giây, 30 giây và 60 giây. Do đó trong khoảng thời gian 60 giây, 5 giá trị pha nhấp nháy được lưu giữ (Sigma pha 1s, 3s, 10s, 30s, 60s).

Biên độ nhấp nháy: Các đo đặc biên độ thô cũng được lọc, hoặc bằng bộ lọc tần thấp hoặc bằng cách lấy trung bình trong khoảng thời gian 60 giây. Sau đó biên độ nhấp nháy tổng (Total S_4) bao gồm cả nhấp nháy do nhiễu môi trường (và hiệu ứng đa đường) gây ra, được tính trong khoảng thời gian 60 giây như các tham số pha. Máy thu cũng tính giá trị hiệu chỉnh biên độ nhấp nháy tổng, là hiệu ứng nhiễu môi trường, dựa trên việc lấy trung bình các giá trị thô của tỷ số tín hiệu/nhiều (C/N_0) ở tần số 1Hz trong khoảng thời gian 60 giây.

Độ lệch Code/Carrier: máy thu cũng thu thập độ lệch Code/Carrier (độ lệch giữa code và giả khoảng cách pha mang) thô mỗi giây. Sau đó giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của độ lệch Code/Carrier được tính cho tất cả các phút. Các giá trị này đặc trưng cho mức độ hoạt động của tín hiệu đa đường truyền, do đó nó có thể được dùng để phân biệt giữa S_4 do tín hiệu đa đường gây ra và S_4 do nhấp nháy điện ly.

Thời gian kết nối tín hiệu L_1 : tham số này cho biết thông tin về khoảng thời gian máy thu kết nối với tín hiệu vệ tinh trên tần số f_1 .

Thời gian kết nối tín hiệu L_2 : tham số này cho biết thông tin về khoảng thời gian máy thu kết nối với tín hiệu vệ tinh trên tần số f_2 . Đây là yếu tố cho biết tính chất hợp lệ của phép đo TEC.

Với các máy thu GSV4004 còn có phần mềm Convert4, cho phép chuyển đổi tệp số liệu đầu ra sang tệp dạng ASCII, BINARY hay RINEX, cung cấp các

thông tin về: giả khoảng cách, các phép đo pha, tần số Doppler, cường độ tín hiệu, thời gian GPS, vị trí máy thu và vệ tinh... được sử dụng cho các mục đích nghiên cứu khác nhau tùy thuộc vào người sử dụng.

3.1.2 Phương pháp nghiên cứu

Thực tế từ số liệu đầu ra của máy thu dạng GSV4004 đã cung cấp cho người dùng thông tin về giá trị TEC đo được theo thời gian. Nhưng đối với máy thu tín hiệu GPS thông thường sẽ cung cấp các thông tin về giả khoảng cách, các phép đo pha, tần số Doppler, cường độ tín hiệu, thời gian GPS, vị trí máy thu và vệ tinh... Do đó để ứng dụng trong nghiên cứu điện ly, người dùng phải lập chương trình tính để thu được các giá trị TEC không chỉ theo thời gian mà còn phải biểu thị các giá trị này theo vị trí tương ứng tại điểm cắt tầng điện ly. Việc sử dụng trực tiếp các giá trị TEC thu được từ phần mềm của máy GSV4004 để nghiên cứu sẽ cho các kết quả kém chính xác như đã được chỉ ra bởi các tác giả trước đây [10, 58]. Do vậy để phục vụ cho mục đích nghiên cứu của luận án thì phương pháp tính TEC phải được tìm hiểu và xây dựng. Trong phần này sẽ giới thiệu một phương pháp rút ra thông tin nồng độ điện tử tổng cộng từ máy thu GPS hai tần số.

3.1.2.1 Rút ra thông tin nồng độ điện tử tổng cộng từ máy thu GPS hai tần số

Tầng điện ly là một môi trường tán xạ đối với các sóng radio, với chỉ số khúc xạ là một hàm của tần số sóng. Đối với tín hiệu GPS, tầng điện ly sẽ gây ra sự trễ nhóm và sớm pha tín hiệu khi sóng điện từ truyền từ vệ tinh tới các máy thu trên mặt đất, mức độ ảnh hưởng tỷ lệ thuận với nồng độ điện tử tổng cộng dọc theo đường truyền. Độ trễ tín hiệu đối với các sóng điện từ có tần số lớn hơn hoặc bằng 100MHz gây bởi tầng điện ly được xác định theo công thức [70]:

$$\Delta\rho_{ion} = \rho' - \rho = \int (1 - n)dl \quad (3.4)$$

trong đó:

$\Delta\rho_{ion}$: độ trễ gây bởi tầng điện ly,

ρ' , ρ là khoảng cách hình học và khoảng cách thực giữa máy thu và vệ tinh,

n là chỉ số khúc xạ của tầng điện ly, đã được định nghĩa trong phương trình (2.9).

Như đã đề cập ở phần trên, do chúng ta chỉ xét đến quá trình truyền sóng radio tại tần số GPS nên chỉ số khúc xạ của tầng điện ly được tính như sau:

$$n = 1 - X/2 \quad \text{với} \quad X = \frac{e^2}{\varepsilon_0 m \omega} N_e = \frac{80,6}{f^2} N_e \quad (3.5)$$

Thay phương trình (3.5) vào phương trình (3.4) chúng ta nhận được:

$$\Delta\rho_{ion} = \frac{40,3}{f^2} \int N_e dl = \frac{40,3}{f^2} STEC \quad (3.6)$$

trong đó f là tần số sóng radio, $STEC = \int N_e dl$ là nồng độ điện tử tổng cộng trong tầng điện ly dọc theo đường tia sóng.

Trái với chỉ số khúc xạ trong tầng đối lưu có $n_{trop} > 1$ và không phụ thuộc tần số đối với sóng ngắn, chỉ số khúc xạ trong tầng điện ly, $n_{ion} < 1$ và phụ thuộc vào tần số. Sử dụng phương trình (3.2) và (3.3) đối với một máy thu GPS hai tần số (f_1 và f_2), ta thu được các phương trình quan sát đối với phép đo pha và giả khoảng cách trên hai tần số như sau:

$$P_{1i}^k = \rho_i^k + c(\Delta t_i - \Delta t^k) + \Delta\rho_{i,trop}^k + \Delta\rho_{i,ion1}^k + c(b_1^k + b_{1i}) + \varepsilon \quad (3.7a)$$

$$P_{2i}^k = \rho_i^k + c(\Delta t_i - \Delta t^k) + \Delta\rho_{i,trop}^k + \Delta\rho_{i,ion2}^k + c(b_2^k + b_{2i}) + \varepsilon \quad (3.7b)$$

$$L_{1i}^k = \rho_i^k + c(\Delta t_i - \Delta t^k) + \Delta\rho_{i,trop}^k - \Delta\rho_{i,ion1}^k + \lambda_1 B_{1i}^k + \varepsilon \quad (3.7c)$$

$$L_{2i}^k = \rho_i^k + c(\Delta t_i - \Delta t^k) + \Delta\rho_{i,trop}^k - \Delta\rho_{i,ion2}^k + \lambda_2 B_{2i}^k + \varepsilon \quad (3.7d)$$

Lấy phương trình (3.7b) trừ đi phương trình (3.7a), phương trình (3.7d) trừ đi phương trình (3.7c) và kết hợp với phương trình (3.6) ta nhận được:

$$STEC = \frac{1}{40,3} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (P_{2i}^k - P_{1i}^k + c(\Delta b^k + \Delta b_i)) \quad (3.8a)$$

$$\text{và} \quad STEC = \frac{1}{40,3} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (L_{1i}^k - L_{2i}^k + B_i^k) \quad (3.8b)$$

Trong đó:

chỉ số i, k biểu thị cho cặp máy thu i và vệ tinh k ,

P_1, P_2 là phép đo giả khoảng cách trên tần số f_1 và f_2 , mét

L_1, L_2 là phép đo pha trên tần số f_1 và f_2 , mét

$\Delta b^k = b_1^k - b_2^k, \Delta b_i = b_{1i} - b_{2i}$ là độ trễ vệ tinh và độ trễ máy thu tương ứng, được tính theo đơn vị thời gian (giây),

$B_i^k = \lambda_2 B_{2i}^k - \lambda_1 B_{1i}^k$ là tham số độ lệch pha ban đầu.

Phương trình (3.8a) cho phép tính STEC từ các phép đo giả khoảng cách, còn phương trình (3.8b) là tính STEC từ các phép đo pha. Chúng ta thấy rằng để xác định STEC theo phép đo pha thì phải xác định được tham số độ lệch pha ban đầu B_i^k , nếu sử dụng các phép đo hiệu giả khoảng cách thì ta phải xác định được các độ trễ thiết bị gây bởi phần cứng máy thu và vệ tinh (Δb_i và Δb^k). Vì vậy, người ta không thể suy ra một cách trực tiếp giá trị STEC tuyệt đối từ số liệu GPS một thời kỳ. Để tách STEC ra khỏi các tham số độ lệch thiết bị hoặc các thông số pha ban đầu chưa biết, người ta phải xử lý số liệu trong khoảng thời gian dài hơn.

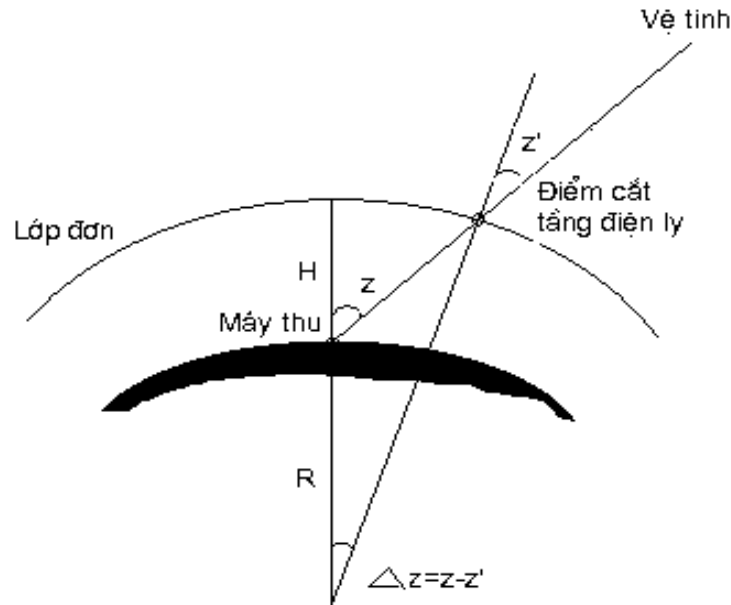
Nếu chỉ sử dụng phép đo hiệu giả khoảng cách sẽ cho độ chính xác vài dm tới 1m, vì các phép đo này là rõ ràng nhưng còn chứa độ trễ nhóm gây bởi thiết bị (máy thu + vệ tinh). Nếu sử dụng phép đo hiệu pha (3.8b) thường cho độ chính xác tốt hơn, chỉ khoảng mm nhưng còn chứa tham số độ lệch pha ban đầu chưa biết [32, 79]. Bản thân vấn đề về lời giải các tham số độ lệch pha ban đầu là một lĩnh vực nghiên cứu tương đối rộng, thường dựa vào các giả thiết có tính chất thống kê. Để xác định được chính xác các thông số này thường rất phức tạp và khó khăn. Vì vậy phương trình (3.8a) sử dụng các phép đo giả khoảng cách thường được sử dụng để tính giá trị tuyệt đối STEC [32, 52, 62, 74, 79].

Ngoài hai phương pháp trên, còn một phương pháp nữa cũng được dùng để tính TEC đó là sử dụng kết hợp cả phép đo hiệu pha và phép đo hiệu giả khoảng cách có thể tham khảo thêm trong [58, 61].

3.1.2.2 Mô hình lớp đơn và hàm vẽ

Số liệu GPS chỉ cung cấp các phép đo TEC nghiêng dọc theo đường đi của tia sóng truyền từ vệ tinh tới máy thu. Do đó cần phải có một phép chuyển đổi STEC về TEC thẳng đứng (TECV) tại điểm cắt dưới tầng điện ly. Để thực hiện được phép chuyển đổi này thì tầng điện ly được cho là một lớp mỏng bao quanh

Trái Đất và tâm của nó trùng với tâm của Trái Đất và được mô phỏng bởi mô hình lớp đơn (hình 3.2). Mô hình lớp đơn có chiều cao H thường được lấy là 350, 400 hoặc 450 km so với mặt đất, tương ứng xấp xỉ với độ cao của cực đại mật độ điện tử trong tầng điện ly.



Hình 3.2, Mô hình lớp đơn tầng điện ly [79], z là góc thiên đỉnh của vệ tinh tại vị trí máy thu và z' là khoảng cách thiên đỉnh của vệ tinh tại điểm cắt tầng điện ly tính bằng độ, $R \approx 6371 \text{ km}$ là bán kính Trái Đất và H là độ cao lớp đơn.

Hàm vẽ tầng điện ly tại độ cao H của mô hình lớp đơn được xác định là nghịch đảo cosin góc thiên đỉnh tại điểm cắt dưới tầng điện ly như sau:

$$F(z) = \frac{1}{\cos z'} \quad \text{với} \quad z' = \arcsin\left(\frac{R}{R+H} \sin z\right) = \arcsin\left(\frac{R}{R+H} \cos \alpha\right) \quad (3.9)$$

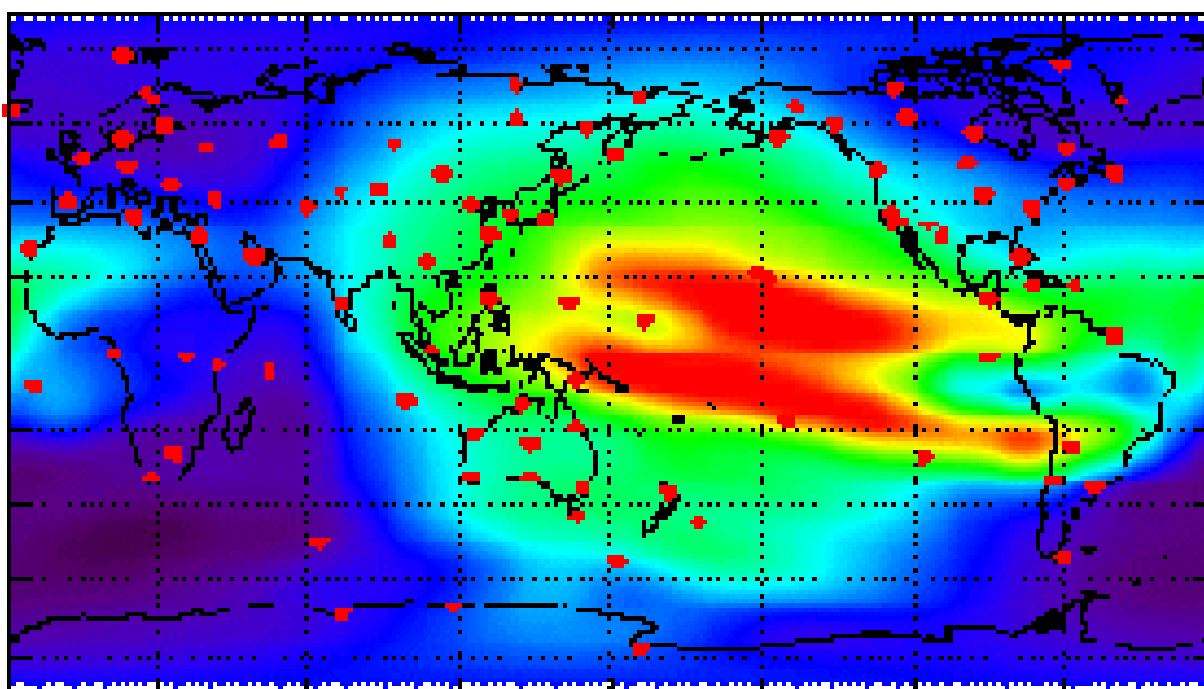
trong đó α là góc nhìn vệ tinh tại vị trí máy thu. Như vậy TECV hoặc để cho ngắn gọn là TEC tương ứng được xác định từ STEC bằng công thức sau:

$$TEC = STEC \cdot \cos z' \quad (3.10)$$

Nồng độ điện tử tổng cộng thẳng đứng TEC đã tính thường được biểu diễn theo một hàm của vĩ độ và thời gian địa phương tại vị trí điểm cắt tầng điện ly. Trong các phần còn lại của luận án ký hiệu TEC được hiểu là TEC thẳng đứng, chúng ta chỉ phân biệt STEC trong những trường hợp cần thiết.

3.1.2.3 Mô hình TEC toàn cầu GIMs

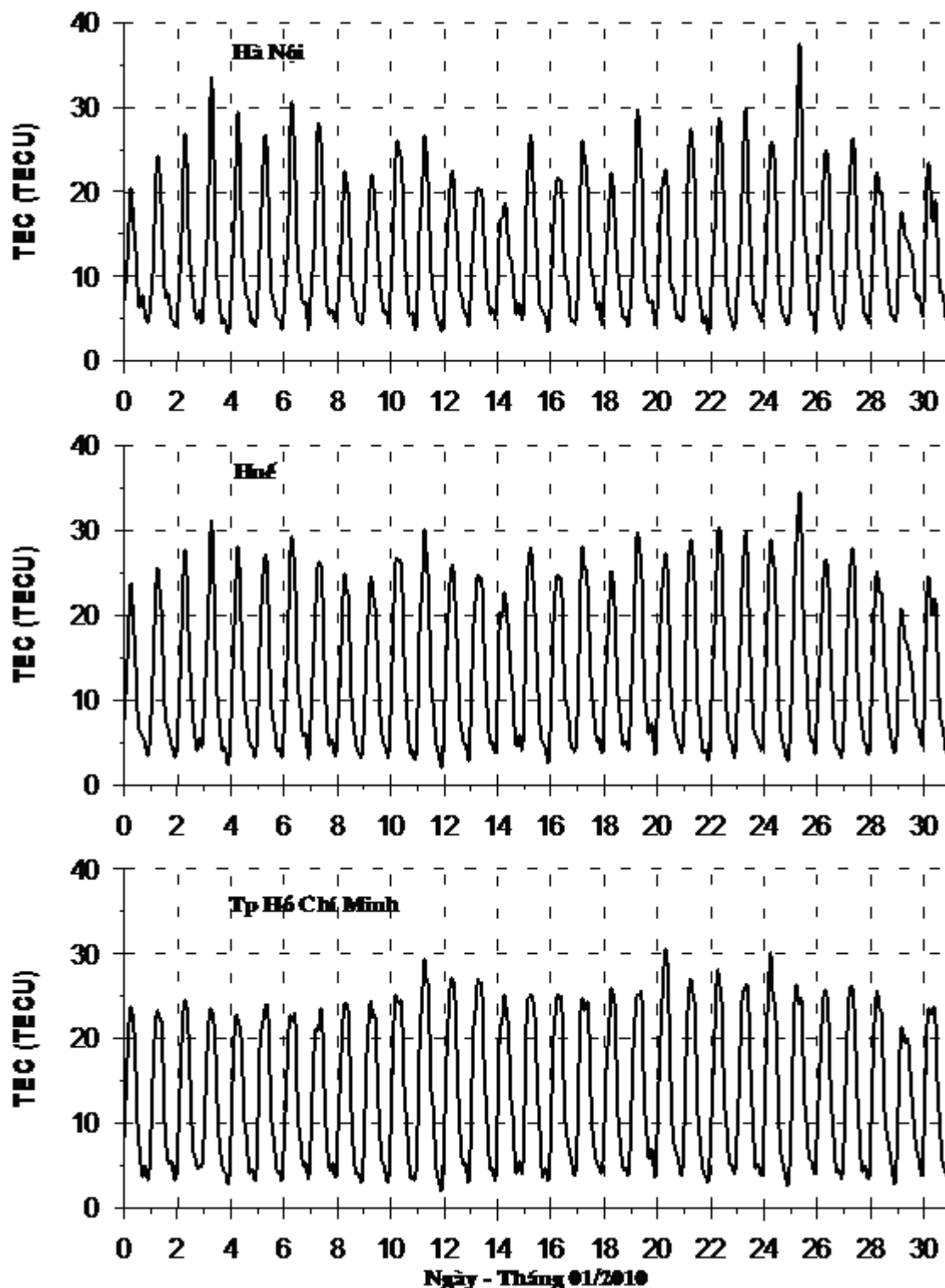
Sản phẩm nghiên cứu tầng điện ly từ hệ thống các máy thu GPS trên toàn cầu hiện nay là mô hình TEC toàn cầu GIMs. Mô hình TEC toàn cầu được tính toán hàng ngày dùng tài liệu của khoảng 150 trạm máy thu GPS của IGS (International GPS Service) và của một số cơ quan khác trên toàn cầu. Các bản đồ phân bố TEC, độ trễ gây bởi phân cứng của vệ tinh (Satellite bias) và máy thu (Receiver bias) được thông báo hàng ngày trong mô hình TEC toàn cầu và có thể tải xuống từ website: <http://www.aiub.unibe.ch/download/code/>.



Hình 3.3, Ví dụ về bản đồ điện ly toàn cầu và vị trí các trạm thu GPS hiện nay (<http://iono.jpl.nasa.gov/>).

Các giá trị TEC thẳng đứng được mô hình hóa trong hệ quy chiếu chuẩn Địa từ-Mặt Trời dùng biểu diễn điều hòa cầu đến bậc và hạng 13. Các hàm tuyến tính từng đoạn được dùng để biểu diễn trong miền thời gian với bước thời gian là 2 giờ. Các độ trễ thiết bị đối với tất cả các vệ tinh và các trạm thu được đánh giá là các hằng số cho từng ngày. Mô hình cho dưới dạng bản đồ tính với lưới tọa độ vuông, khoảng cách mắt lưới được chia là $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. Việc tính toán TEC tại một trạm có tọa độ nhất định được nội suy từ các giá trị TEC ở các mắt lưới xung quanh mà vị

trí trạm nằm trong đó. Hình 3.4 là ví dụ về các giá trị TEC tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh vào tháng 01/2010 tính từ mô hình toàn cầu.



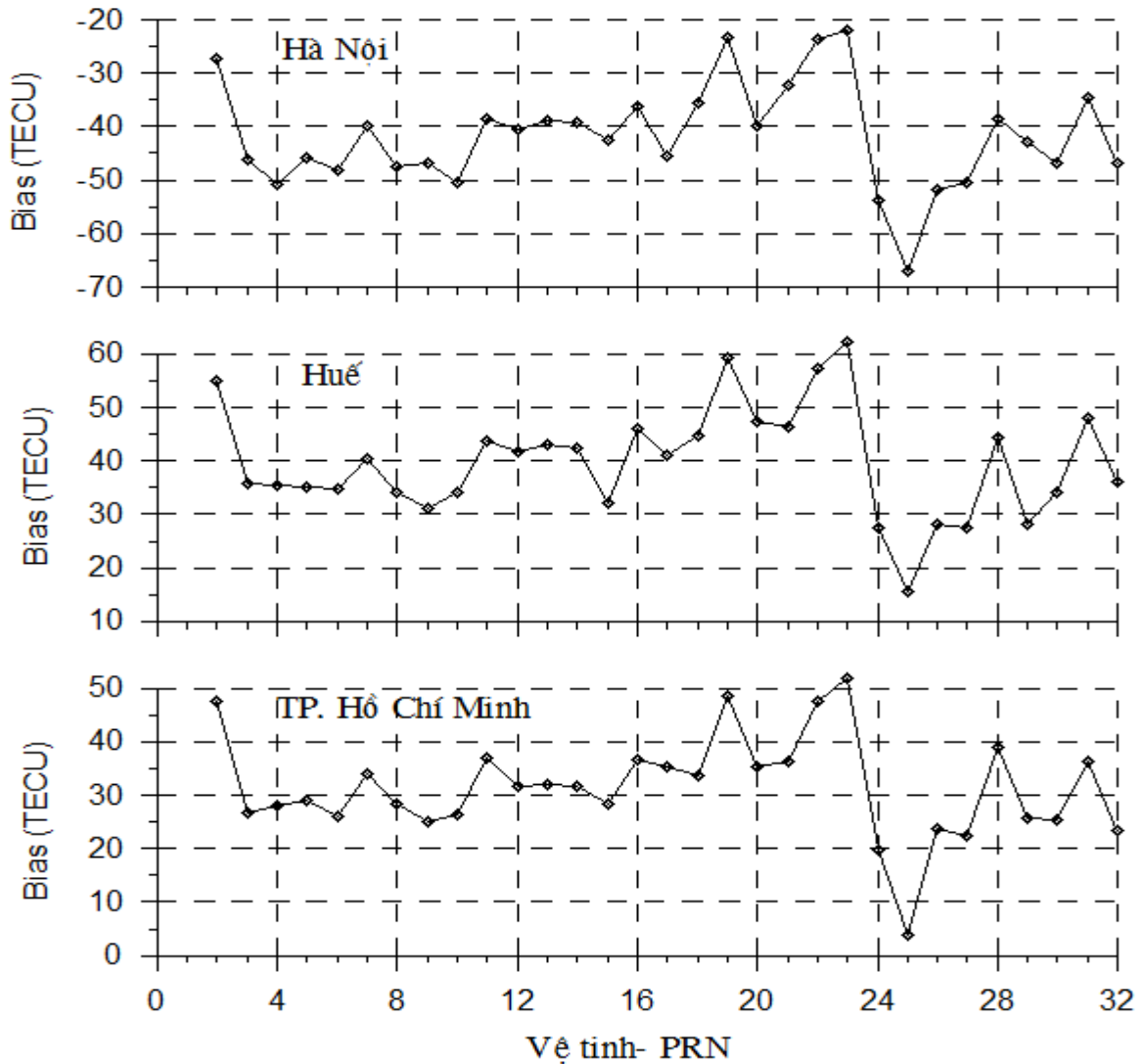
Hình 3.4 Giá trị TEC tính từ mô hình toàn cầu tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh vào tháng 01/2010

3.1.2.4 Xác định độ trễ phản cứng máy thu và vệ tinh

Như đã trình bày ở trên, việc sử dụng các phép đo hiệu giả khoảng cách để tính STEC là rõ ràng nhưng còn chứa độ trễ nhóm gây bởi thiết bị (máy thu + vệ tinh). Đối với hệ thống máy thu GPS nằm trong mạng lưới toàn cầu thì độ trễ thiết bị này đã được tính toán hàng ngày và sẵn có để dùng trong sản phẩm bản đồ TEC toàn cầu. Đối với các máy thu GPS không có trong mạng lưới trạm thì tham số độ trễ này không có sẵn và đòi hỏi người dùng phải tính để đưa vào phương trình tính STEC (3.8a).

Trong hầu hết các trường hợp, các độ trễ thiết bị phải được tính đến, nếu bỏ qua độ trễ này sẽ gây ra một sai số đáng kể trong phép tính STEC (ví dụ nếu sai số hiệu độ trễ là 1ns sẽ tương đương với một lượng là 2.853 TECu). Cũng có một vài phương pháp tính độ trễ máy thu được công bố bởi các tác giả khác nhau khi ứng dụng để xử lý cho các trạm thu trong vùng nghiên cứu, và cho một số trường hợp cụ thể [47, 52, 61, 74, 75]. Ý tưởng của các phương pháp chủ yếu là so sánh và hiệu chỉnh giữa giá trị TEC quan sát và TEC mô hình. Đối với các máy thu ở Việt Nam, Lê Huy Minh và nnk [10, 11] đã xây dựng phương pháp tính độ lệch máy thu bằng cách tính độ lệch bình phương trung bình giữa TEC quan sát trong trường hợp chưa hiệu chỉnh độ lệch máy thu và TEC thu được từ mô hình toàn cầu trong khoảng thời gian đêm từ 01h đến 05h sáng địa phương tại cùng một vị trí quan sát. Theo phương pháp này, giá trị độ trễ của vệ tinh được lấy từ mô hình toàn cầu còn giá trị độ trễ máy thu được tính và hiệu chỉnh hàng ngày. Hạn chế của phương pháp này là ảnh hưởng có tính chất địa phương trong ngày của tầng điện ly sẽ tác động trực tiếp đến giá trị độ trễ máy thu tính được mà thực chất lại không phải do phản cứng của máy thu gây ra. Mặt khác, ý tưởng của phương pháp là lựa chọn khoảng thời gian ít biến đổi nhất của tầng điện ly trong ngày là từ 01h đến 5h sáng địa phương để so sánh. Như vậy, khó khăn gặp phải vào những ngày số liệu bị mất trong khoảng thời gian trên thì không thể tính và hiệu chỉnh độ trễ thiết bị. Năm 2008 với sự giúp đỡ của TS Rolland Fleury, chúng tôi đã xây dựng bộ chương trình tính TEC theo phương pháp của Komjathy et al. [52] khi sử dụng bản đồ TEC toàn cầu để đánh giá độ trễ của máy thu bất kỳ. Để tính độ trễ thiết bị, chúng tôi tiến hành tính độ lệch giữa giá

trị TEC tính toán theo công thức (3.8a) và (3.10) trong trường hợp chưa hiệu chỉnh độ trễ thiết bị ($\Delta b^k + \Delta b_i = \Delta b_i^k = 0$) cho tất cả các vệ tinh nhìn thấy có góc nhìn lớn hơn hoặc bằng 20° và giá trị TEC tính được từ mô hình toàn cầu tại cùng một vị trí trạm ở thời điểm quan sát. Do giá trị TEC suy ra từ mô hình toàn cầu với khoảng thời gian 2 giờ một giá trị, vì vậy các giá trị TEC mô hình tương ứng với khoảng thời gian quan sát được nội suy để so sánh với các giá trị TEC tính toán được và như vậy ở từng thời điểm quan sát t trong ngày chúng ta sẽ thu được một giá trị $\Delta b_i^k(t)$. Sau đó giá trị độ trễ Δb_i^k cho một ngày được lấy là median của tất cả các giá trị $\Delta b_i^k(t)$ ở các thời điểm quan sát trong ngày.

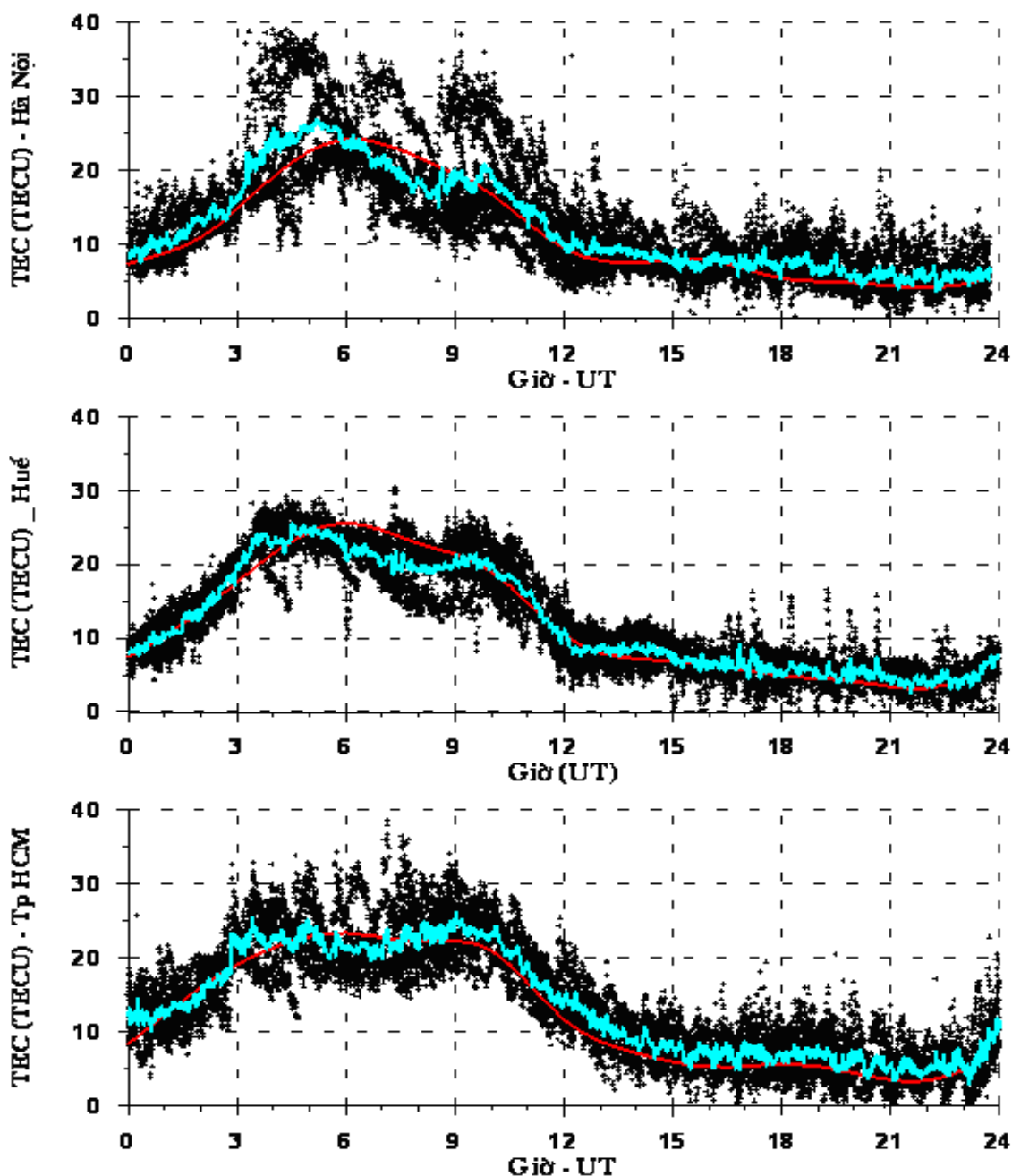


Hình 3.5, Độ trễ thiết bị (vệ tinh+máy thu) trong tháng 10/2010 tại Hà Nội, Huế và TP. Hồ Chí Minh.

Hình 3.5 biểu diễn kết quả tính độ trễ thiết bị trong tháng 10/2010 cho từng cặp vệ tinh-máy thu đặt tại Hà Nội, Huế và TP. Hồ Chí Minh với trục tung biểu thị giá trị độ trễ thiết bị (vệ tinh + máy thu) và trục hoành biểu thị vệ tinh tương ứng quan sát tại mỗi trạm. Giá trị độ lệch được tính cho tất cả các cặp máy thu - vệ tinh (mỗi trạm thu sẽ có 32 cặp giá trị tương ứng với 32 vệ tinh) và cho tất cả các phút trong ngày quan sát. Các cặp giá trị độ lệch cho ngày sẽ là median độ lệch của tất cả các phút. Để hạn chế các tác động có tính chất địa phương của tầng điện ly lên kết quả tính độ trễ, chúng tôi sẽ không lấy trực tiếp các giá trị median ngày để hiệu chỉnh mà chúng tôi tính median cho khoảng thời gian nhiều ngày mà ở đây là 1 tháng. Các cặp giá trị độ trễ (vệ tinh+máy thu) median tháng được tính mỗi tháng và sử dụng để đưa vào phương trình tính TEC tuyệt đối tương ứng với mỗi cặp (vệ tinh+máy thu) cho từng ngày trong tháng. Từ *hình 3.5* ta nhận thấy rằng tại mỗi trạm thu, các giá trị độ trễ thay đổi tùy thuộc vào từng vệ tinh và điều này cũng dễ hiểu bởi mỗi vệ tinh đều có chứa một độ trễ phân cứng nhất định và khác nhau tùy thuộc vào kỹ thuật chế tạo, trạng thái vệ tinh hay môi trường vệ tinh đang bay. Chiều hướng dao động của độ trễ theo từng vệ tinh là như nhau ở cả ba trạm, nhưng khoảng giá trị độ trễ thiết bị gây ra tại trạm Hà Nội dao động trong khoảng -70 TECu đến -20 TECu, tại trạm Huế giá trị này dao động trong khoảng từ 5 TECu đến 60 TECu và tại trạm đặt ở TP. Hồ Chí Minh là từ 5 TECu đến 50 TECu tùy theo từng vệ tinh quan sát. Tất cả các cặp giá trị độ trễ thiết bị này được tính cho từng tháng quan sát số liệu và sẽ được dùng để đưa vào phương trình tính giá trị TEC tuyệt đối cho mỗi cặp vệ tinh và máy thu tương ứng tại thời điểm quan sát.

Để kiểm tra phương pháp tính, chúng tôi tiến hành so sánh các giá trị TEC tính được bằng phương pháp đã nêu sau khi đã sử dụng các giá trị độ trễ thiết bị tính toán và các giá trị TEC rút ra từ mô hình toàn cầu tại vị trí của 3 trạm GPS ở Việt Nam trong một ngày quan sát số liệu, kết quả được chỉ ra trên *hình 3.6*. Ta nhận thấy rằng đường cong giá trị TEC thu được có xu hướng phù hợp với đường TEC tính từ mô hình toàn cầu, nhưng cũng có nhiều điểm phản ánh xu thế khác, đặc biệt vào thời gian ngày, khi hiệu ứng vòi phun của tầng điện ly vùng vĩ độ thấp phát triển thì có sự sai lệch về xu hướng giữa giá trị TEC mô hình và giá trị TEC đo đạc

thực tế. Điều này có thể là do đặc trưng địa phương phức tạp của tầng điện ly vùng xích đạo mà mô hình toàn cầu không thể mô tả hết. Ouattara et al., [69] đã so sánh giữa số liệu mô hình và số liệu quan sát tại trạm vùng xích đạo Koudougou ở Bắc Mỹ, cũng cho thấy có sự sai lệch đáng kể giữa giá trị TEC tính từ mô hình và TEC quan sát.



Hình 3.6, Giá trị TEC đã hiệu chỉnh độ trễ thiết bị của tất cả các vệ tinh nhìn thấy (chấm đen), giá trị TEC trung bình cho từng thời điểm quan sát (đường liền nét) và

TEC từ mô hình toàn cầu (đường liền nét nhẵn) trong ngày 02/01/2010 tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh.

Phương pháp tính độ trễ thiết bị này đã được Lê Huy Minh et al. [64] giới thiệu và áp dụng nghiên cứu cho vùng dị thường điện ly xích đạo Đông Nam Á, kết quả được đăng trên tạp chí *Advances in Space Research* và nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới.

3.1.2.5 Chương trình tính toán nông độ điện tử tổng cộng từ số liệu GPS

Từ các phương pháp tính toán đã nêu, một chương trình tính toán TEC đã được xây dựng. Ngoài việc tính các giá trị TEC theo phương pháp đã nêu cho mỗi đường vệ tinh, chúng tôi còn phải tính tọa độ (kinh độ, vĩ độ) cho mỗi giá trị TEC tại điểm cắt tầng điện ly để phục vụ cho việc xây dựng bản đồ phân bố TEC khu vực Việt Nam. Trong trường hợp nghiên cứu này, tọa độ điểm cắt tầng điện ly được lấy ở độ cao 400km theo mô hình lớp đơn đã nêu phần trên. Toàn bộ chương trình tính được viết bằng ngôn ngữ Matlab gồm khoảng 1000 dòng lệnh được chia thành hai bước chính tương ứng với 2 chương trình lớn. Các bước thực hiện chương trình được chỉ ra như trong sơ đồ khối trên *hình 3.7*.

Chương trình lớn được đặt tên 'Bias_tot.m', là một chương trình chính gồm 16 chương trình con và được chia làm 2 bước:

Bước thứ nhất step 1, có nhiệm vụ tính toán các giá trị TEC cho trường hợp chưa hiệu chỉnh độ trễ thiết bị ($\Delta b^i + \Delta b_j = 0$) cho các cặp vệ tinh-máy thu và cho cả tháng số liệu, với các tệp số liệu đầu vào là: tệp số liệu quan sát dưới dạng RINEX, tệp số liệu niên giám yuma cung cấp thông tin vệ tinh, tệp codg cung cấp số liệu mô hình TEC toàn cầu và độ trễ thiết bị (tuy nhiên độ trễ thiết bị trong tệp này sẽ không được chúng tôi sử dụng). Các kết quả tính được ghi ra tệp đầu ra tương ứng cho tất cả các ngày quan sát trong tháng với các thông số như: thời gian (s), tên vệ tinh, vĩ độ điểm cắt tầng điện ly (độ), kinh độ điểm cắt tầng điện ly (độ), TEC nghiêng (TECu) và góc nhìn vệ tinh (độ). Trong step 1 có chứa 10 chương trình con có chức năng xử lý khác nhau:

1, Sgps: chương trình chuyên đổi ngày, tháng, năm quan sát sang tuần, ngày GPS.

2, Quant, Bissec: chương trình đổi ngày, tháng, năm quan sát sang ngày GPS và tính cho các trường hợp năm nhuận hay không nhuận.

3, Lec_alm: chương trình này cung cấp các thông tin liên quan đến tình trạng vệ tinh từ tệp yuma như: số vệ tinh đang hoạt động, góc nghiêng của quỹ đạo so với mặt phẳng xích đạo của vệ tinh tại thời điểm quan sát, độ trễ đồng hồ vệ tinh...

4, Parorb: chương trình cung cấp thông tin về các tham số quỹ đạo liên quan đến mỗi vệ tinh với các thông số đầu vào thu được từ chương trình lec_alm.

5, Entete: chương trình đọc các thông số đầu vào từ tệp số liệu quan sát RINEX như: tọa độ trạm trong hệ tọa độ (X,Y,Z), khoảng thời gian quan sát, số lượng các đại lượng quan sát được, và các giá trị tương ứng.

6, Sp3: chương trình tính chuyển tọa độ trạm thu từ hệ tọa độ (X,Y,Z) sang hệ tọa độ cầu (φ, λ, h) theo radian và mét.

7, Icord: chương trình cung cấp vị trí vệ tinh và tọa độ điểm cắt tầng điện ly. Với các thông số đầu vào là: vĩ độ, kinh độ, độ cao trạm thu và thời gian quan sát. Thông số lồi ra là: tọa độ điểm cắt tầng điện ly, góc nhìn vệ tinh và góc phương vị của vệ tinh.

8, Isupiono: chương trình tính tọa độ điểm cắt tầng điện ly, với thông số đầu vào là: kinh độ và vĩ độ trạm quan sát, góc nhìn và góc azimuth của vệ tinh.

9, Iposit: chương trình tính vị trí vệ tinh, với thông số đầu vào là vị trí trạm quan sát và đầu ra là: độ cao, kinh độ, vĩ độ của vệ tinh, khoảng cách từ trạm thu tới vệ tinh, góc nhìn vệ tinh và góc phương vị azimuth.

10, Lec_obs_1: chương trình xử lý tệp số liệu quan sát và tính các giá trị TEC nghiêng theo công thức đã nêu với độ trễ thiết bị chưa hiệu chỉnh.

Bước thứ hai step 2, có nhiệm vụ tính toán các độ lệch giữa giá trị TEC tính được trong bước 1 và giá trị TEC của mô hình, sau đó tính các giá trị median ngày và tháng để thu được độ trễ thiết bị cho các cặp (vệ tinh-máy thu) tương ứng và ghi ra tệp đầu ra thứ hai chứa thông tin về độ trễ thiết bị. Trong step 2 có chứa 6 chương trình con có chức năng xử lý khác nhau:

1, Sgps: chương trình chuyển đổi ngày, tháng, năm quan sát sang tuần, ngày GPS.

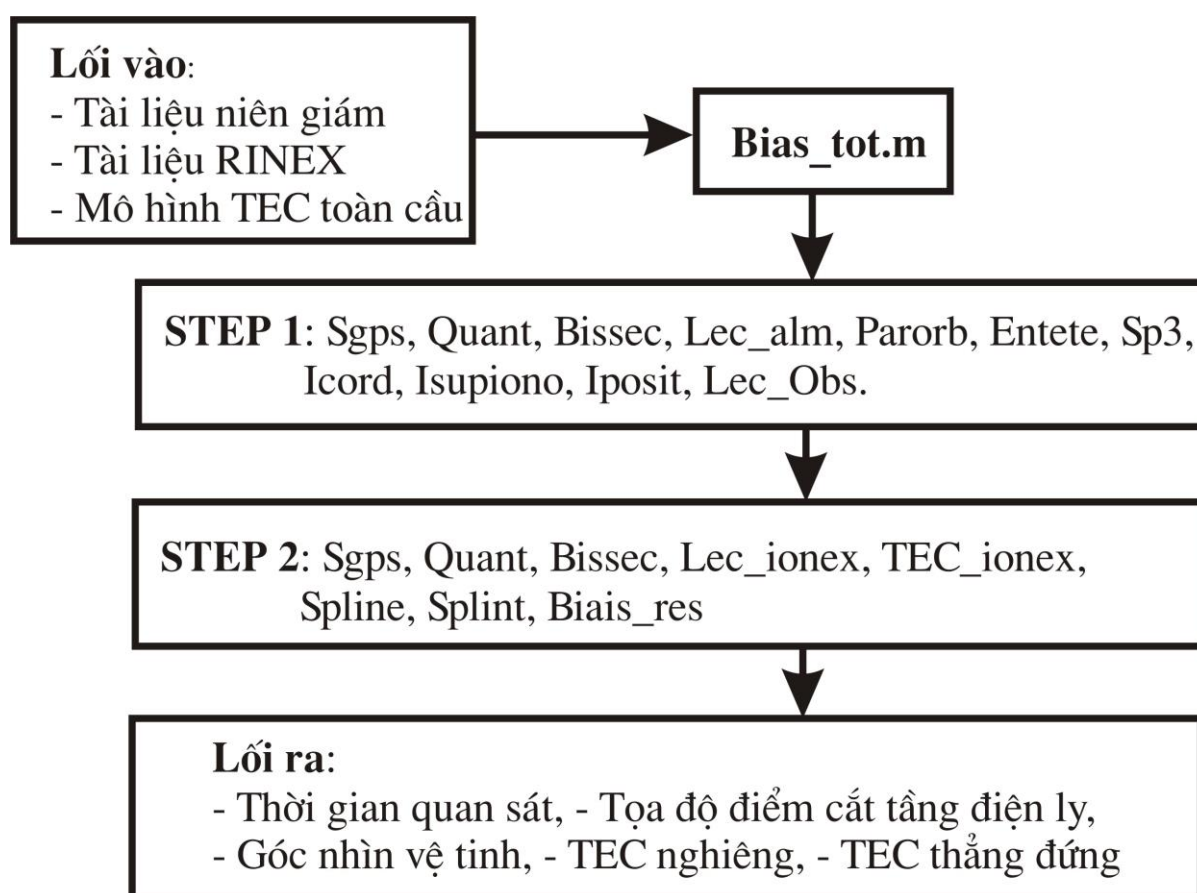
2, Quant, Bissec: chương trình đổi ngày, tháng, năm quan sát sang ngày GPS và tính cho các trường hợp năm nhận hay không nhận.

3, Lect_ionex: chương trình rút ra bản đồ TEC khu vực từ mô hình toàn cầu cho trạm quan sát.

4, TEC_ionex: chương trình tính các giá trị TEC mô hình tương ứng với kinh độ, vĩ độ trạm quan sát, nội suy chuỗi số liệu cho tất cả các giờ trong ngày.

5, Spline, Splint: là các hàm nội suy.

6, Biais_res: chương trình tính median độ trễ thiết bị cho các ngày khác nhau và cho từng vệ tinh.

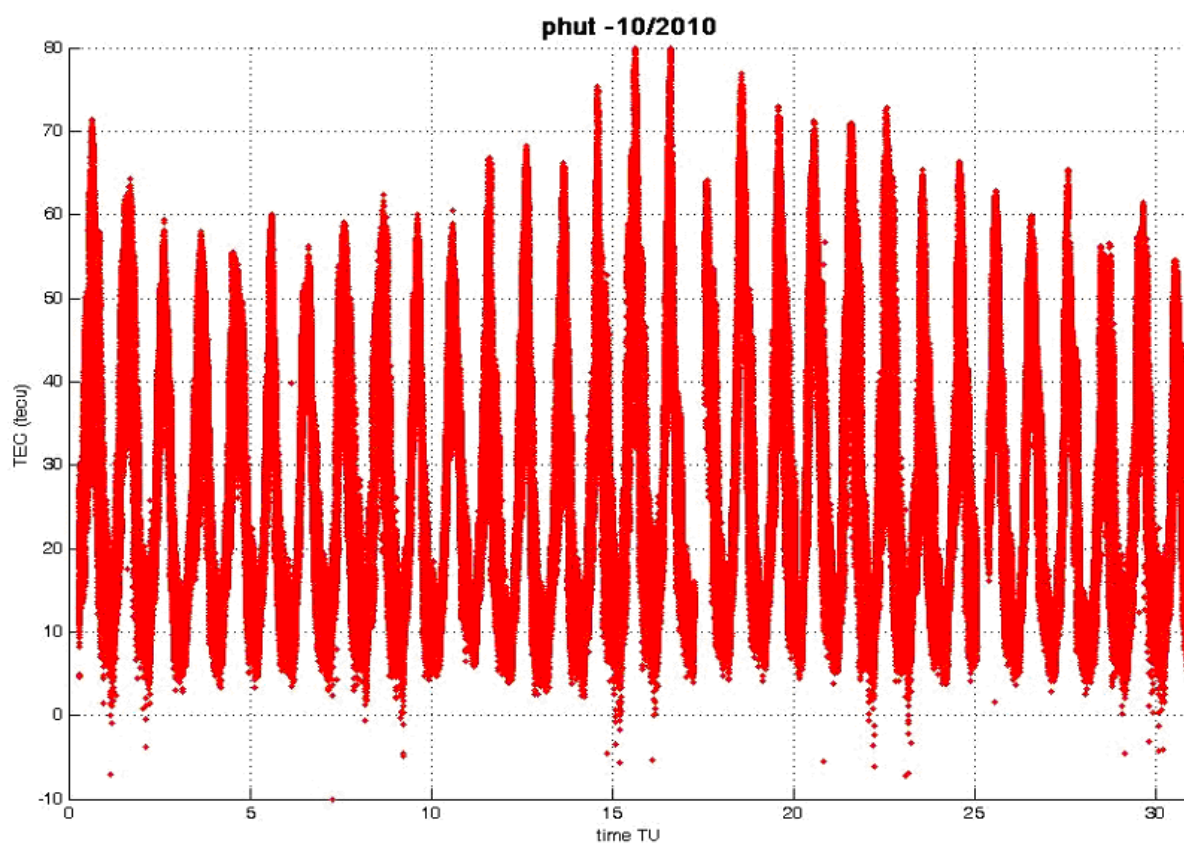


Hình 3.7, Sơ đồ khối chương trình tính toán TEC.

Sau khi kết thúc chương trình bias_tot.m sẽ chạy chương trình có tên verify.m, với các tệp số liệu đầu vào là tệp kết quả đầu ra ở chương trình bias_tot.m. Chương trình này có nhiệm vụ tính giá trị TEC thẳng đứng tuyệt đối khi đã có

thông tin về tổng độ lệch do phần cứng máy thu và phần cứng vệ tinh và vẽ giá trị TEC thẳng đứng tuyệt đối theo chuỗi thời gian để kiểm tra.

Kết quả tính giá trị TEC áp dụng bộ chương trình này được biểu diễn trên hình 3.8 với các giá trị TEC tính được trong tháng 10/2010 cho trạm ở Hà Nội. Ta thấy rằng biên độ dao động của TEC từ ngày này sang ngày khác là tương đối khác nhau, nhưng đều có một cực đại vào thời gian ban ngày và một cực tiểu vào thời gian ban đêm địa phương. Ngoài ra trong một số ngày có xuất hiện giá trị TEC âm hoặc dương nằm ngoài xu hướng biến thiên chung trong khoảng thời gian quan sát; các giá trị này có thể gây bởi hiện tượng đa đường truyền tín hiệu, nhiễu đường truyền... và cần phải loại bỏ trước khi đưa vào nghiên cứu.



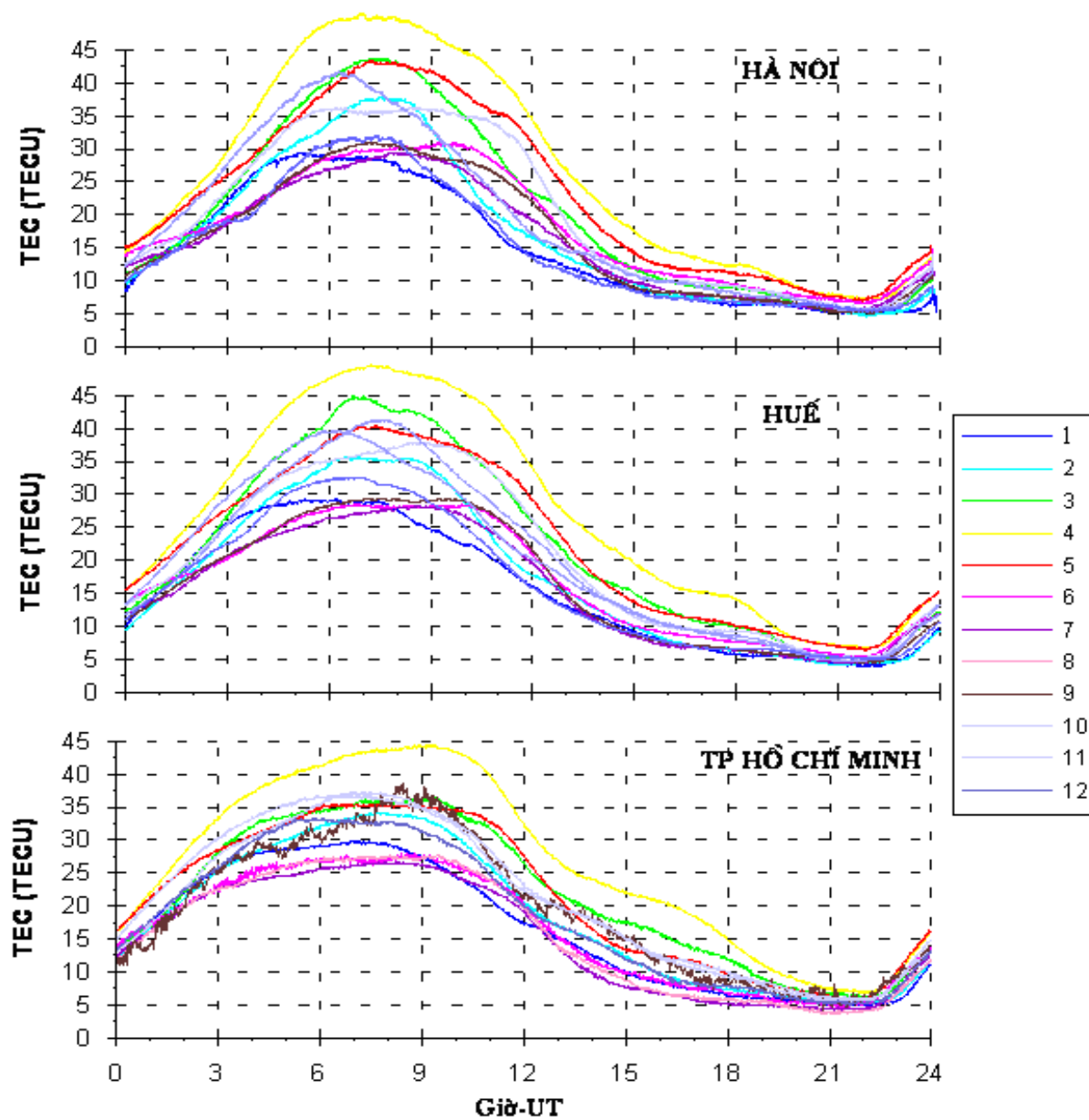
Hình 3.8, Biến thiên TEC hàng ngày trong tháng 10/2010 tại Hà Nội.

Trong trường hợp ở đây, các giá trị TEC sau khi tính toán theo chương trình, chúng tôi sử dụng thêm bước lọc lấy các giá trị theo góc nhìn vệ tinh lớn hơn 20° để hạn chế ảnh hưởng kể trên. Giới hạn góc nhìn này có thể làm giảm số lượng vệ tinh quan sát nhưng cho phép chúng ta loại bỏ được đáng kể những ảnh hưởng không

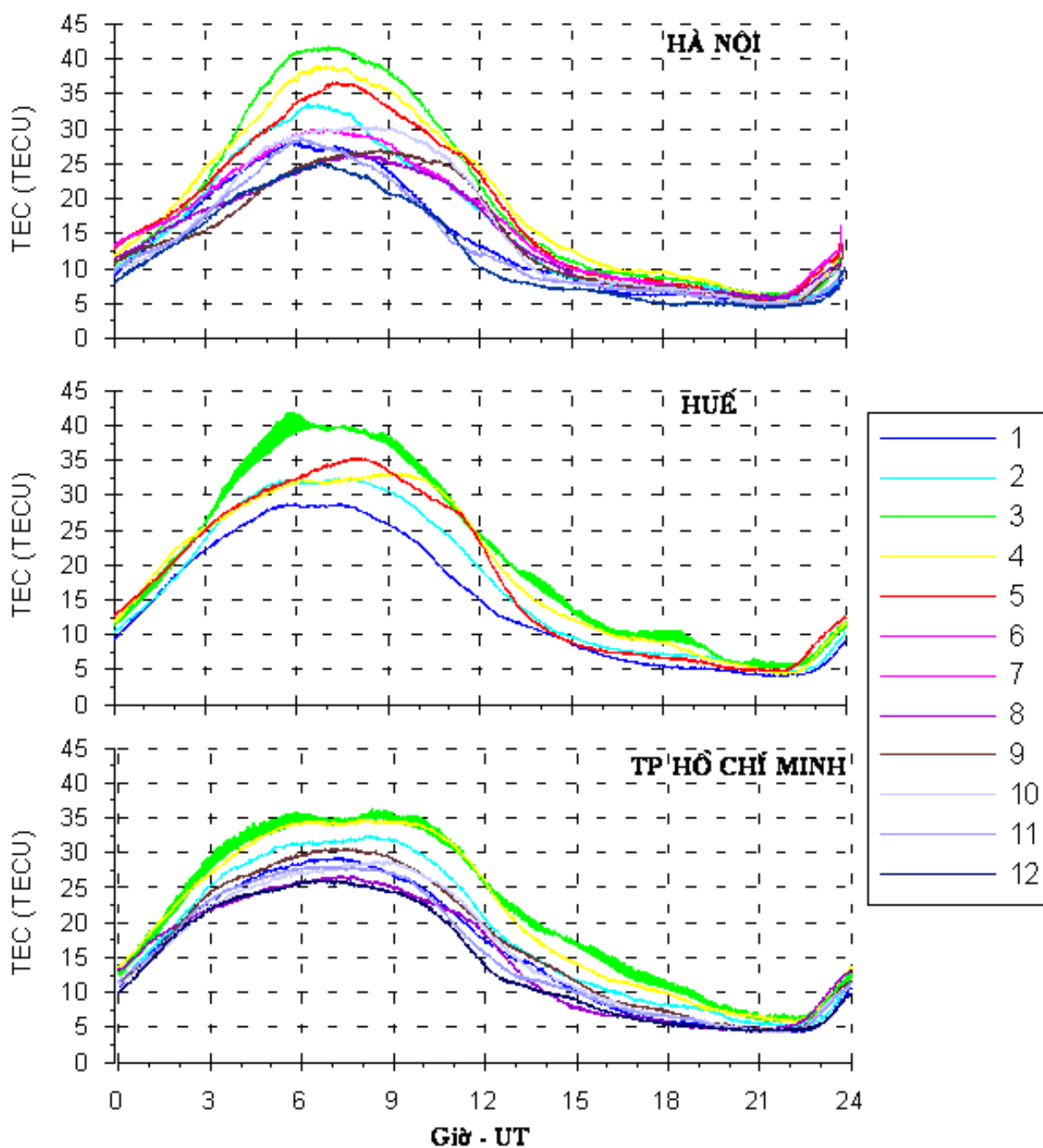
phải do bởi tầng điện ly. Tập hợp các giá trị TEC đã được lọc như vậy là cơ sở cho các nghiên cứu sau này về TEC.

3.2 Biến thiên theo thời gian ngày đêm của TEC khu vực Việt Nam

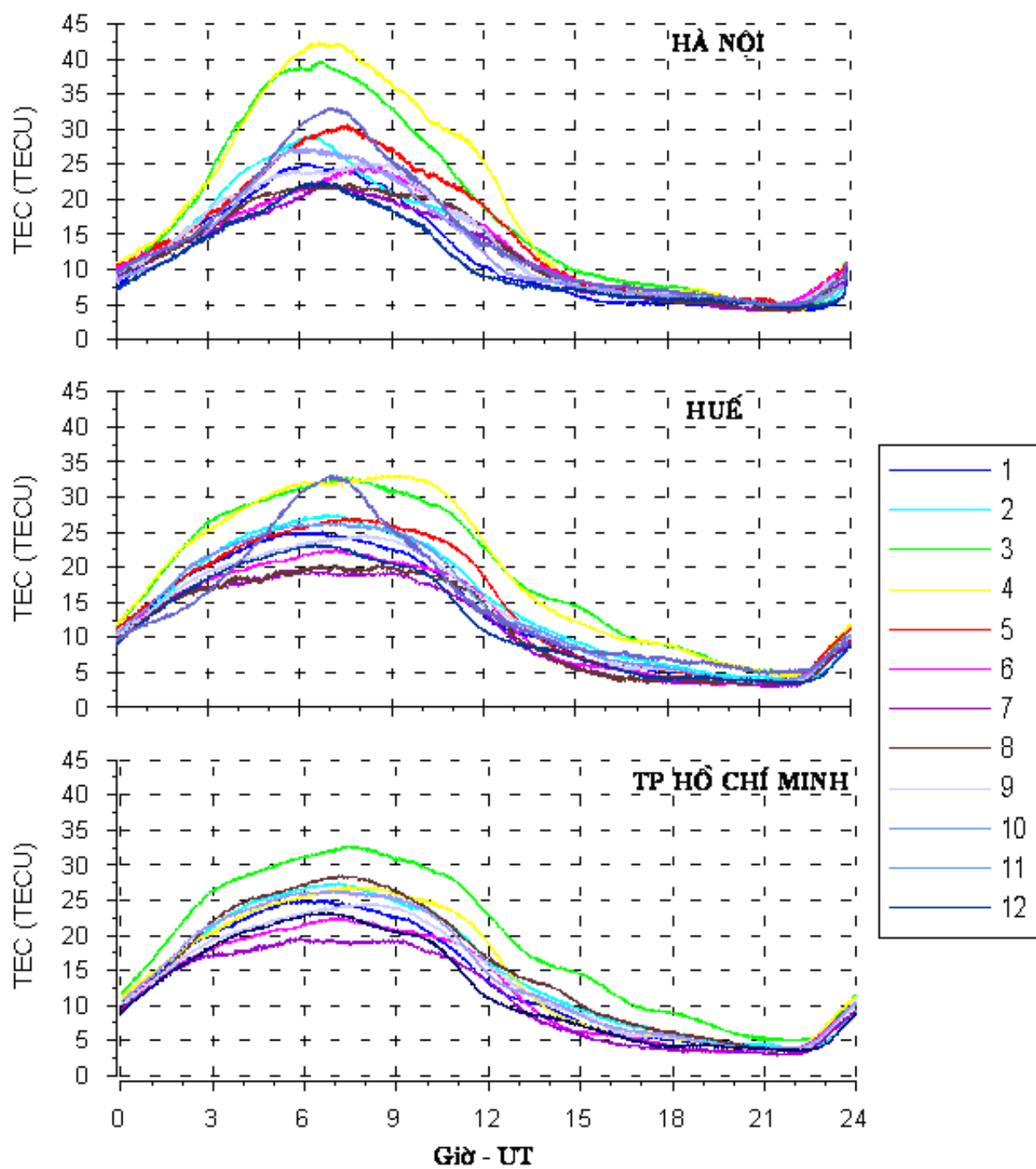
Áp dụng chương trình tính toán TEC đã nêu chúng tôi tiến hành tính TEC cho số liệu GPS liên tục của 3 trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh với khoảng cách giữa hai thời điểm quan sát là 30 giây. Để chỉ ra biến thiên theo thời gian ngày đêm của TEC, các giá trị TEC tính được tại mỗi thời điểm quan sát sẽ được lấy trung bình cho tất cả các vệ tinh nhìn thấy. Từ hình 3.9 đến hình 3.13 minh họa biến thiên ngày đêm trung bình tháng trong năm từ 2006 đến 2010 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh, với trục tung biểu thị giá trị trung bình của TEC theo đơn vị TECu ($1\text{TECu} = 10^{16} \text{ e/m}^2$) trong tháng tại thời điểm quan sát và trục hoành biểu thị thời gian được tính theo giờ quốc tế (giờ địa phương sẽ được cộng thêm 7). Kết quả quan sát cho thấy đặc trưng biến thiên ngày đêm chung của TEC là đạt một cực đại vào ban ngày (06-09UT, tức là 13-16LT) và một cực tiểu vào ban đêm địa phương (khoảng 21-22UT, tức là 04-05LT). Biên độ dao động ngày đêm trung bình tháng của TEC thay đổi trong khoảng từ cực tiểu ban đêm cỡ 5TECu đến cực đại ban ngày cỡ 50TECu tùy thuộc vào từng tháng trong năm và vào mức độ hoạt động mặt trời. Dựa vào phép chuyển đổi trong bảng 2.4, với biên độ dao động ngày đêm của TEC kể trên sẽ gây ra độ trễ khoảng cách từ 1m đến 8m trên tín hiệu L_1 . Sau 15hUT (22hLT) TEC ít biến đổi và duy trì giá trị thấp trong suốt thời gian ban đêm.



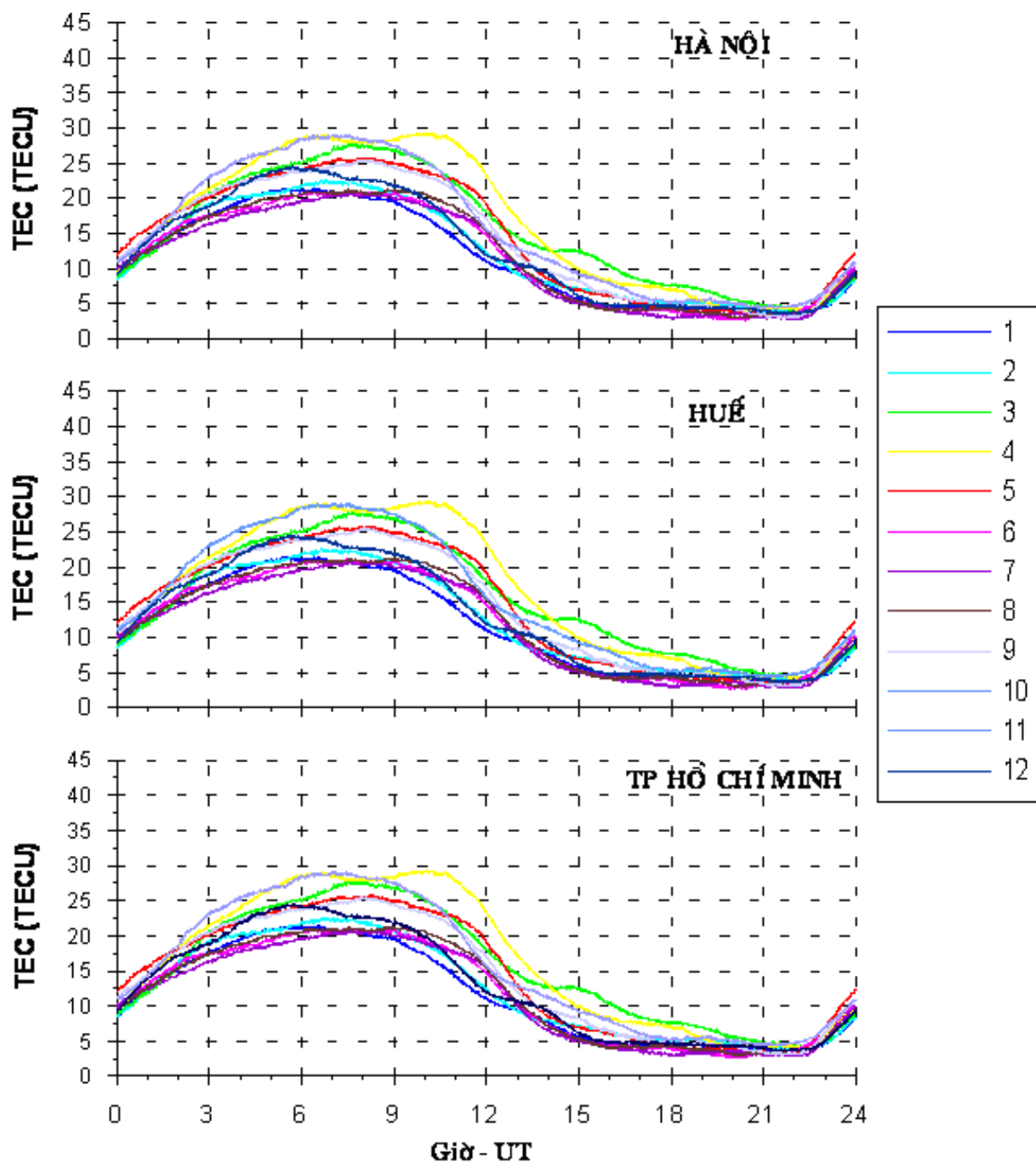
Hình 3.9 Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2006 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh



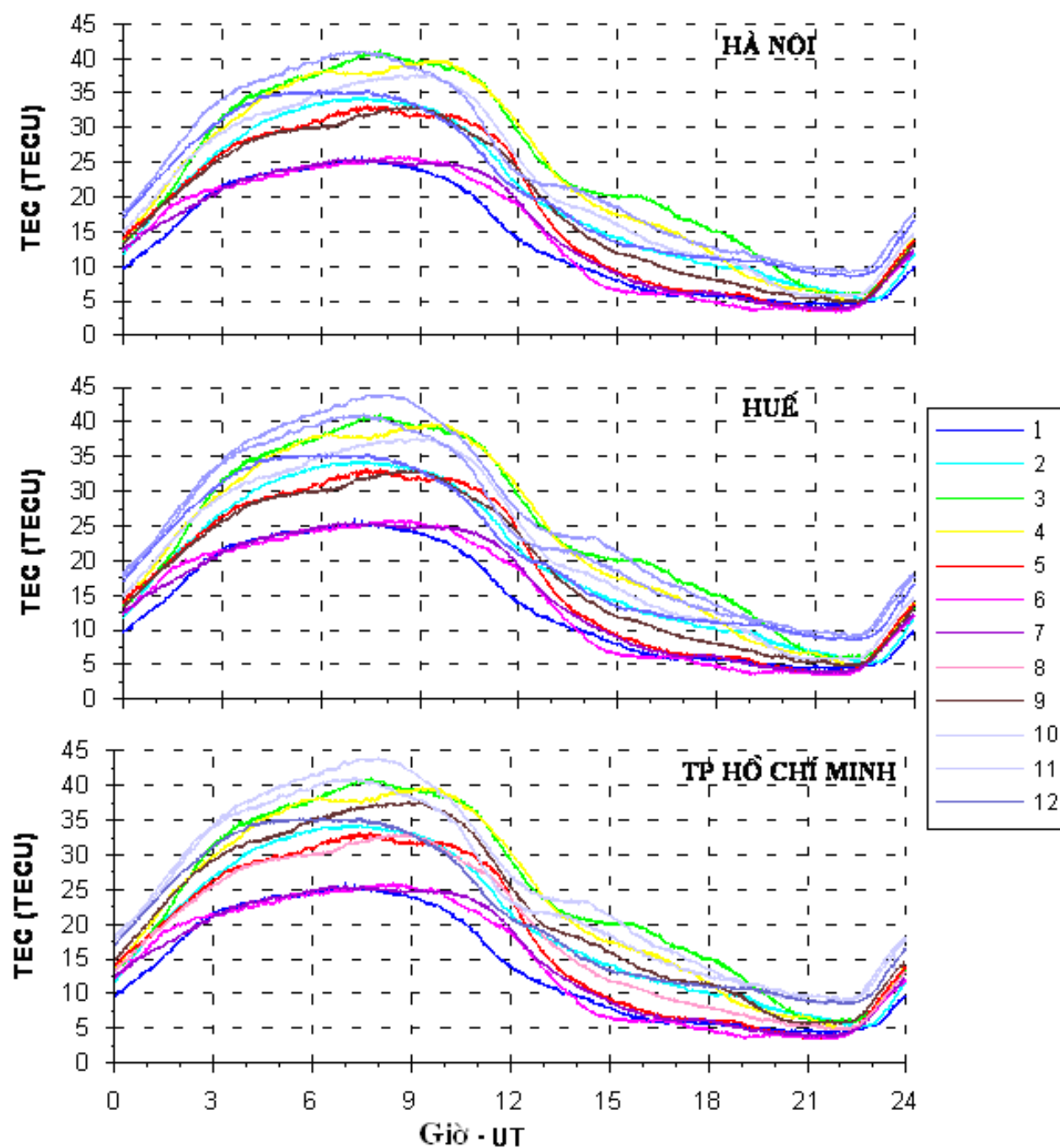
Hình 3.10 Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2007 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh



Hình 3.11 Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2008 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh



Hình 3.12 Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2009 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh

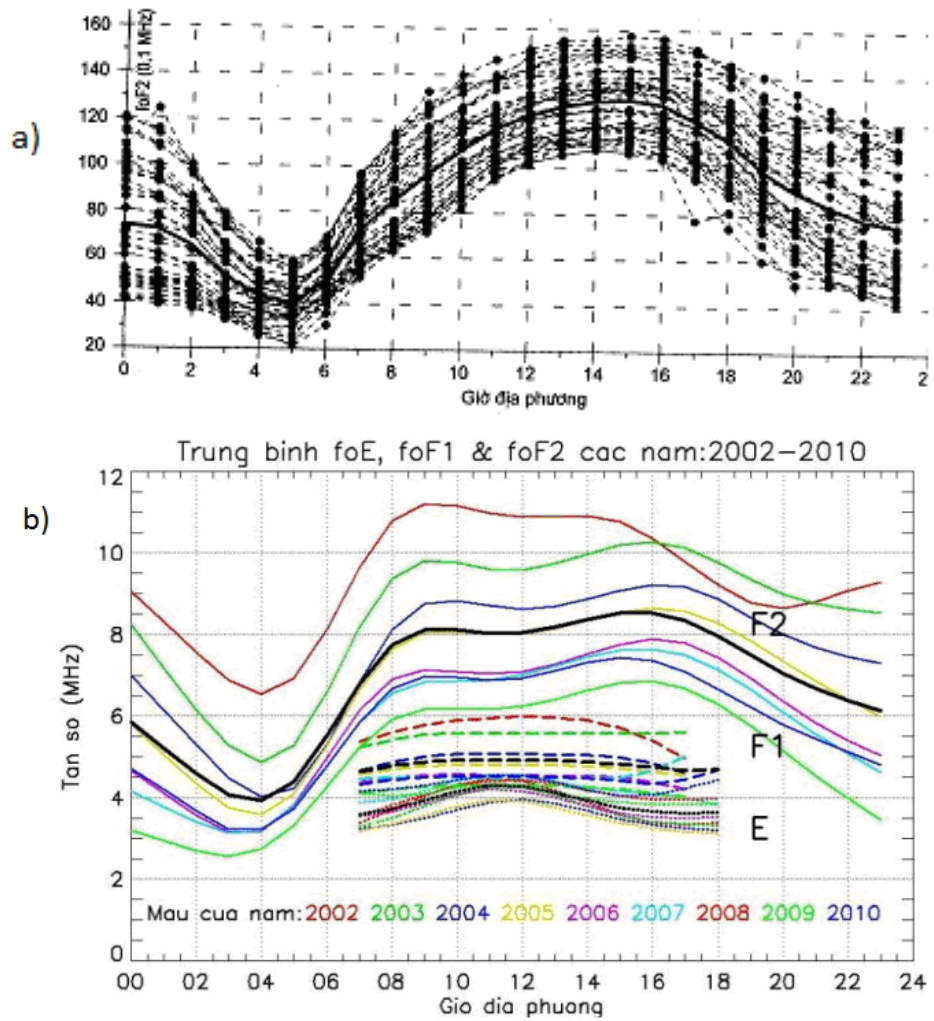


Hình 3.13 Biến thiên ngày đêm trung bình tháng của TEC trong năm 2010 tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh

Việc TEC đạt cực đại vào ban ngày và cực tiểu vào ban đêm hoàn toàn dễ hiểu, như đã trình bày trong chương 2 của luận án, tầng điện ly được hình thành và

tồn tại dưới tác dụng của bức xạ mặt trời và phụ thuộc chủ yếu vào quá trình quang ion hóa. Vào ban ngày quá trình này diễn ra mạnh mẽ với tốc độ sinh ion và điện tử lớn làm cho nồng độ điện tử trong tầng điện ly tăng lên và đạt giá trị cực đại. Chúng ta biết rằng vào giữa trưa địa phương (12hLT) vị trí Mặt Trời ở vị trí quan sát nằm ở thiên đỉnh ($\chi=0$), tốc độ sinh ion và điện tử đạt cực đại, tuy nhiên cực đại của TEC hầu như không xảy ra đúng giữa trưa địa phương mà đạt được vào khoảng đầu giờ chiều, điều này cho thấy ngoài quá trình quang ion hóa của bức xạ mặt trời, TEC còn phụ thuộc vào các quá trình động học khác như: gió trong tầng điện ly, trường điện, trường từ Trái Đất,... ảnh hưởng của các yếu tố này đang dần được làm sáng tỏ trong các nghiên cứu gần đây. Vào thời điểm sau khi Mặt Trời lặn, nồng độ điện tử sẽ giảm dần do không còn xảy ra quá trình quang ion hóa mà chiếm ưu thế là quá trình va chạm và tái hợp, tuy nhiên nồng độ điện tử vẫn được duy trì trong suốt các giờ ban đêm do gió khí quyển trung hòa trong mặt phẳng kinh tuyến hướng về phía xích đạo, nâng plasma dọc theo đường sức từ lên các độ cao lớn hơn tại đó hệ số mất mát điện tử đủ nhỏ để duy trì sự tồn tại nồng độ điện tử suốt đêm.

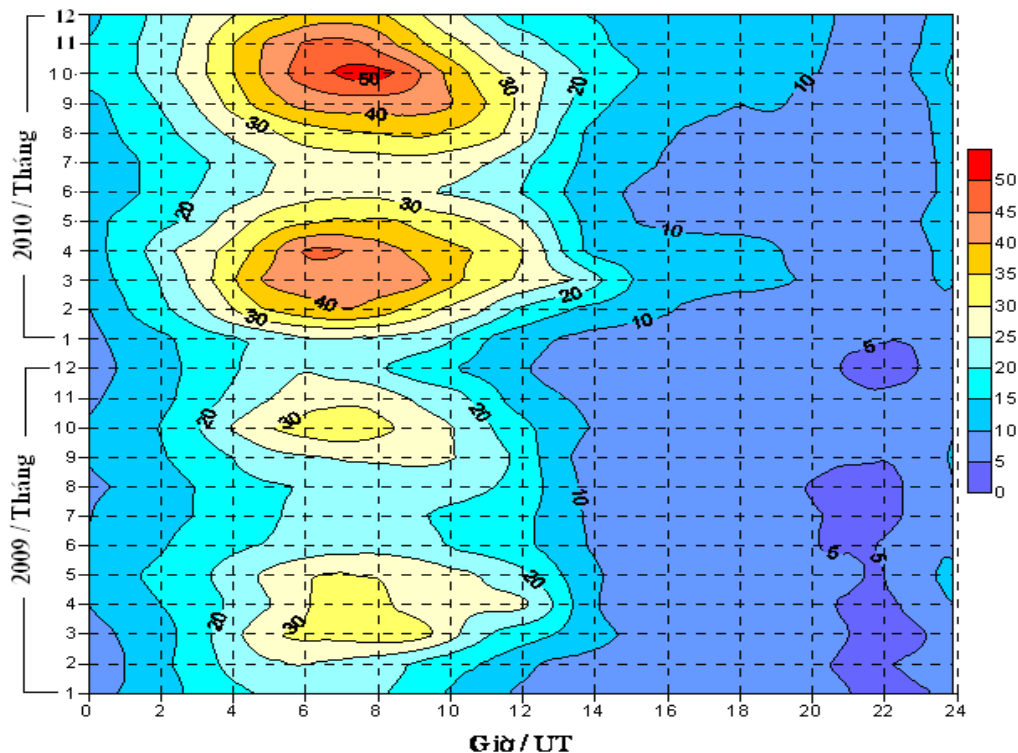
So sánh với đặc trưng biến thiên ngày đêm của tần số tới hạn của các lớp điện ly đã công bố bởi các tác giả trước đây [4, 8], ta nhận thấy rằng đặc trưng biến thiên theo thời gian ngày đêm của TEC hoàn toàn giống với đặc trưng biến thiên ngày đêm của tần số tới hạn lớp F_2 (f_oF_2) tầng điện ly tại trạm Phú Thụy - Hà Nội là có một cực đại vào khoảng 14 giờ địa phương. Nhưng khác hơn khi so sánh với kết quả quan sát được tại trạm phía Nam (Tp. Hồ Chí Minh) khi biến thiên ngày đêm của tần số tới hạn lớp F_2 (f_oF_2) tại đây đạt giá trị thấp hơn và đạt hai đỉnh vào khoảng 9 giờ và 17 giờ địa phương như chỉ ra trên *hình 3.14*, trong khi đó thì xu hướng hai đỉnh không thể hiện một cách rõ ràng trên đặc trưng biến thiên của TEC tại Tp. Hồ Chí Minh trong hầu hết các tháng trong năm, nhưng ở Tp Hồ Chí Minh độ rộng của khoảng cực đại ban ngày của TEC hoàn toàn tương ứng với độ rộng của vùng cực đại ban ngày ở f_oF_2 .



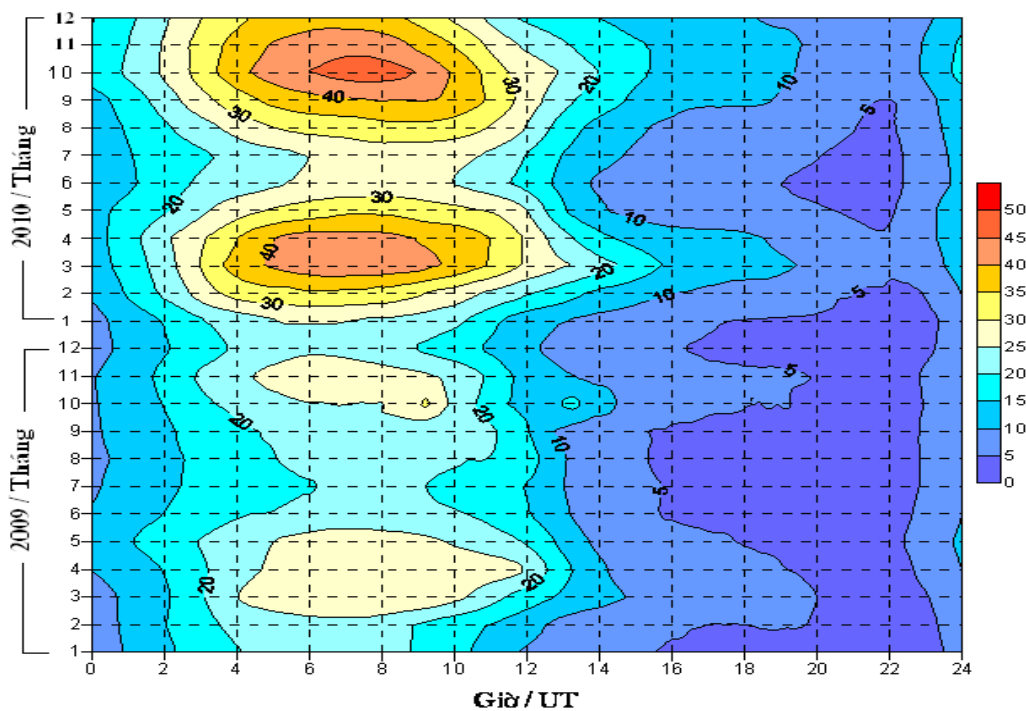
Hình 3.14 a) Biến thiên tần số f_0F_2 tại Phú Thụy [8]; b) Biến thiên tần số f_0F_2 tại Thành phố Hồ Chí Minh [4]

3.3 Biến thiên theo mùa và sự phụ thuộc vào mức độ hoạt động mặt trời

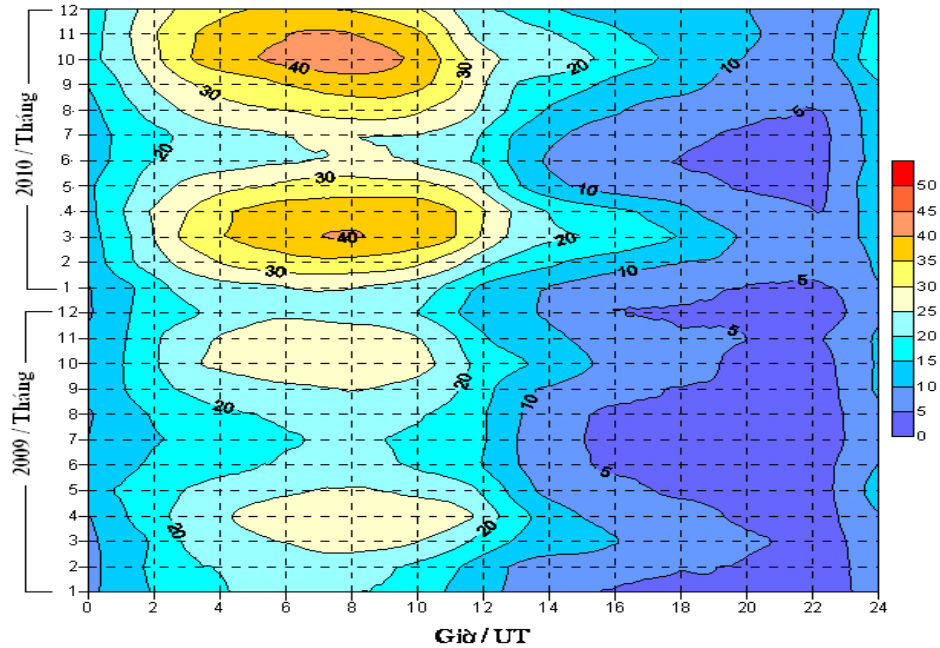
Để tìm hiểu đặc tính mùa của TEC, chúng tôi tiến hành vẽ các giá trị TEC trung bình tháng ngày đêm theo dạng đường đẳng trị cho từng năm số liệu quan sát, kết quả được chỉ ra trên hình 3.15, hình 3.16 và hình 3.17 tương ứng cho trạm ở Hà Nội, Huế và Tp. Hồ Chí Minh trong thời gian năm 2009 và 2010. Với trục tung biểu thị các tháng trong năm và trục hoành biểu thị thời gian trong ngày, các đường đẳng trị với bước chia là 5 TECu biểu thị các giá trị TEC tương ứng theo thang màu từ 0 tới 50 TECu.



Hình 3.15, Biến thiên theo mùa trong năm 2009 và 2010 tại Hà Nội, khoảng cách giữa các đường đẳng trị 5 TECu.



Hình 3.16, Biến thiên theo mùa trong năm 2009 và 2010 tại Huế, khoảng cách giữa các đường đẳng trị 5 TECu.

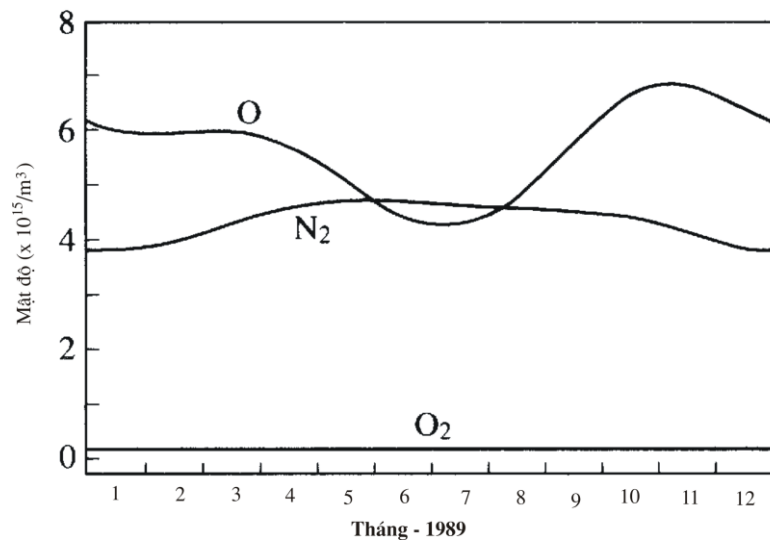


Hình 3.17, Biến thiên theo mùa trong năm 2009 và 2010 tại TP. Hồ Chí Minh, khoảng cách giữa các đường đẳng trị 5 TECu.

Để dàng nhận thấy rằng TEC thể hiện một xu thế biến thiên theo mùa trong năm rất rõ, đạt hai cực đại vào thời kỳ phân điểm hàng năm: xuân phân (tháng 3-4) và thu phân (tháng 9-10) và cực tiểu vào những tháng mùa đông và mùa hè. Ngoài ra biên độ TEC còn phụ thuộc vào vị trí trạm quan sát khi so sánh trong cùng thời điểm quan sát, ta nhận thấy giá trị TEC đo được tại trạm Hà Nội thường lớn nhất, tiếp đến là trạm Huế và nhỏ nhất quan sát được tại Tp Hồ Chí Minh, đặc trưng này sẽ được thể hiện rõ hơn khi biểu diễn theo vĩ độ sẽ được trình bày chi tiết trong phần sau. Các đặc trưng biến thiên của nồng độ điện tử tổng cộng theo thời gian và theo mùa quan sát cho khu vực Việt Nam tương đồng với các kết quả nghiên cứu cho vùng Ấn Độ của Rama Rao et al., [74] như đã được đề cập trong chương 1 của luận án.

Để giải thích hiện tượng mùa của TEC quan sát ở trên ta sẽ tìm hiểu cơ chế vật lý liên quan đến hiện tượng này như sau: theo lý thuyết, cường độ bức xạ của Mặt Trời chiếu lên Trái Đất cao nhất vào mùa hè, và khi đó tốc độ ion hóa do bức xạ cũng là cao nhất hay nói cách khác là tốc độ sinh ion trong tầng điện ly vào mùa hè là lớn nhất trong năm. Do đó, theo lý thuyết này thì giá trị TEC sẽ đạt cực đại vào mùa hè. Trong khi đó, quan sát thực tế lại cho thấy chiều hướng biến thiên mùa

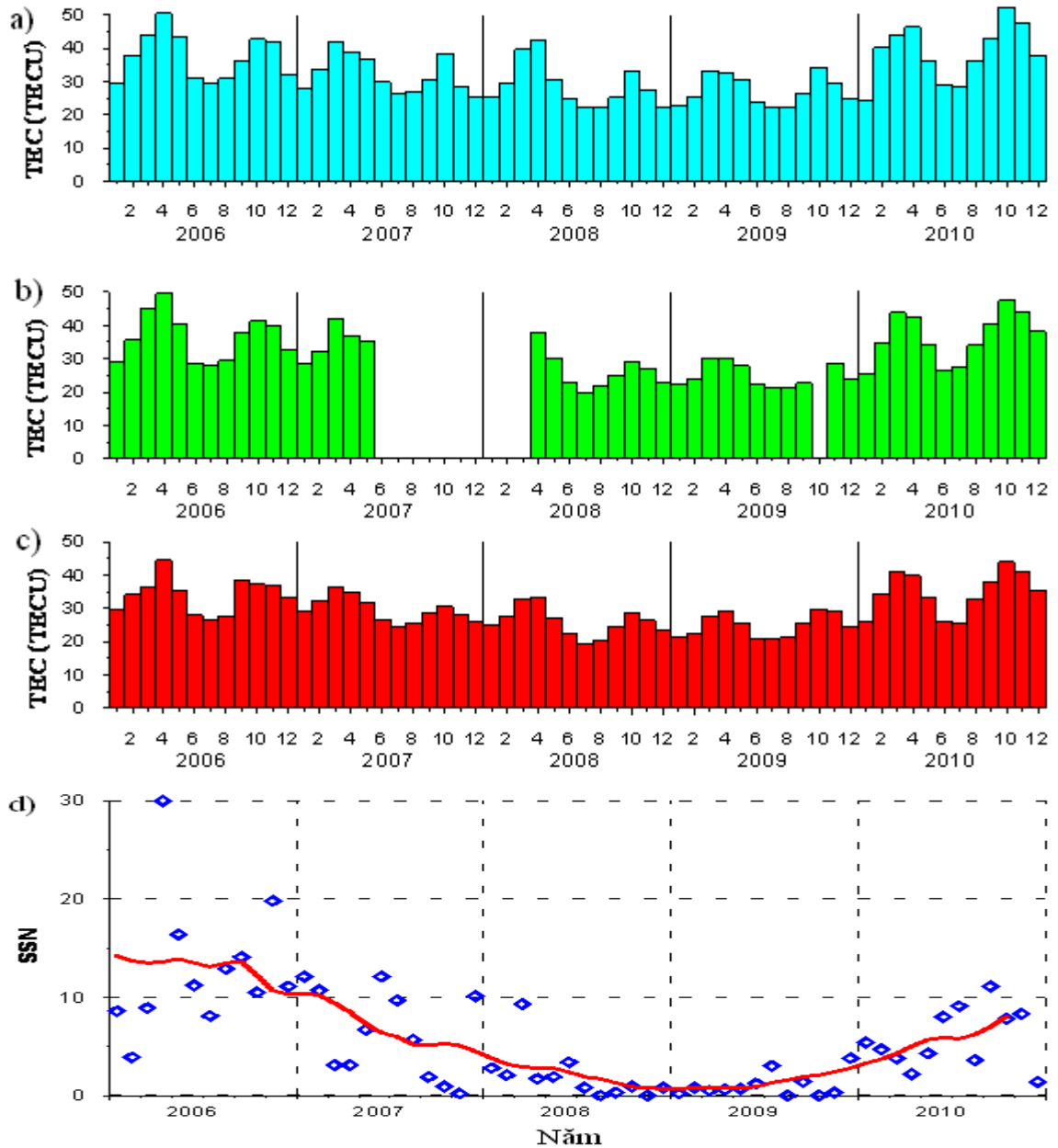
của TEC có thể được xem là đối ngược với sự tăng lên của tốc độ ion hóa. Kết quả quan sát như vậy do liên quan đến sự cân bằng giữa quá trình sinh và mất ion trong tầng điện ly. Như đã trình bày trong chương 2 của luận án, hợp phần khí trung hòa chính trong nhiệt quyển là O , N_2 và O_2 . Như vậy các ion chính được tạo ra bởi sự quang ion hóa và tương tác trong nhiệt quyển là O^+ , NO^+ và O_2^+ theo các phương trình phản ứng quang hóa. Người ta thấy rằng trong vùng F của tầng điện ly, tốc độ sinh ion tỷ lệ thuận với mật độ oxy nguyên tử (O) và sự tái hợp làm mất ion gia tăng chủ yếu theo sự tăng của mật độ Nitơ phân tử (N_2). Ondoh et al. [66] đã dùng mô hình điện ly toàn cầu MSIS-86 nghiên cứu sự biến thiên theo mùa trong năm của các hợp phần khí (hình 3.18) trong tầng điện ly.



Hình 3.18, Sự biến đổi theo thời gian của mật độ các hợp phần khí lúc 12h00 LT tại độ cao 200km, trong năm 1989 theo mô hình điện ly MSIS-86 (Ondoh et al.,, 2001).

Kết quả quan sát từ mô hình cho thấy mật độ oxy nguyên tử giảm rất mạnh vào mùa hè và tăng vào thời kỳ phân điểm, hợp phần N_2 tăng vào mùa hè và chiếm ưu thế so với oxy nguyên tử. Như vậy vào mùa hè tốc độ sinh plasma giảm kết hợp với tốc độ tái hợp tăng lên đáng kể, kết quả là vào mùa hè mật độ điện tử trong tầng điện ly giảm và vào tháng phân điểm tốc độ sinh ion tăng dẫn đến mật độ điện tử tăng lên và đạt cực đại. Kiểu biến thiên mùa của TEC như vậy cũng tương tự biến thiên mùa của tần số tới hạn lớp F2 tầng điện ly (f_oF2) thu được từ thăm dò thẳng tầng điện ly quan sát được tại trạm điện ly Phú Thụy, Hà Nội [8].

Ngoài đặc trưng biến thiên theo mùa ở trên, TEC còn phụ thuộc vào mức độ hoạt động của Mặt Trời, kết quả này đã được đề cập đến trong các công bố trước đây bởi các tác giả trên thế giới khi nghiên cứu cho tầng điện ly vùng xích đạo [30, 32, 36, 74]. Để xem xét mối liên hệ này chúng tôi đã tính giá trị cực đại TEC trong tháng của từng năm cho toàn bộ chuỗi số liệu từ 2006 đến 2010, kết quả được chỉ ra trên hình 3.19.



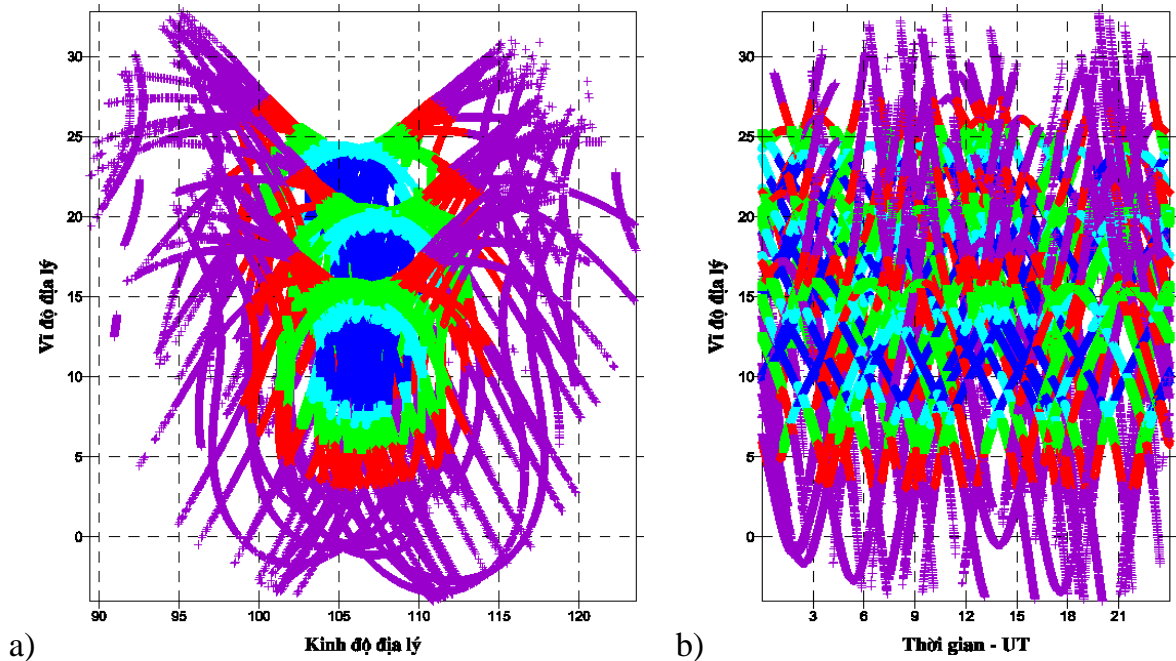
Hình 3.19, Biến thiên biên độ cực đại TEC tại a) Hà Nội, b) Huế, c) TP. Hồ Chí Minh và d) Số vết đen mặt trời giai đoạn từ 2006 đến 2010.

Các hình a, b và c biểu thị biên độ TEC cực đại trong tháng của các trạm Hà Nội, Huế và TP. Hồ Chí Minh, hình d biểu thị số vết đen mặt trời trung bình tháng trong giai đoạn nghiên cứu. Ta nhận thấy rằng biên độ cực đại của TEC cũng thể hiện biến thiên mùa và biến thiên theo mức độ hoạt động mặt trời, so sánh chuỗi số liệu từ 2006 đến 2010 tại mỗi trạm ta nhận thấy biên độ TEC giảm dần khi hoạt động của mặt trời giảm và biên độ đạt giá trị thấp nhất vào năm 2008 và 2009 (khi hoạt động mặt trời là cực tiểu), và đến năm 2010 lại tăng dần lên. Chúng ta dễ dàng nhận thấy với chuỗi số liệu quan sát, trong pha đi xuống của hoạt động mặt trời (2006 đến 2008), cực đại xuân phân lớn hơn cực đại thu phân, trong pha đi lên của hoạt động mặt trời (2009 đến 2010) thì ngược lại, cực đại thu phân lại lớn hơn cực đại xuân phân. Như vậy, giá trị của hai cực đại trong thời kỳ phân điểm cũng thay đổi theo mức độ hoạt động của mặt trời. Đặc trưng biến thiên theo mùa và theo pha hoạt động của mặt trời cũng được tìm thấy trong biến thiên của tần số f_oF_2 tại Phú Thọ [8, 49].

3.4 Đặc trưng phân bố theo thời gian và vĩ độ

Để có cái nhìn tổng thể về TEC trên toàn lãnh thổ Việt Nam, chúng ta cần xây dựng các bản đồ phân bố TEC cho khu vực này. Hình 3.20 là vết của các vệ tinh ở độ cao 400km nhìn thấy được bởi các máy thu ở Hà Nội, Huế và TP Hồ Chí Minh trong thời gian 1 ngày (29/05/2008). Các vết vệ tinh vẽ lên được hiển thị với các góc nhìn vệ tinh α khác nhau; lớp trong cùng $\alpha > 50^\circ$, lớp thứ hai $40^\circ < \alpha \leq 50^\circ$, lớp thứ ba $30^\circ < \alpha \leq 40^\circ$, lớp thứ tư $20^\circ < \alpha \leq 30^\circ$ và lớp ngoài cùng $\alpha \leq 20^\circ$. Hình 3.20a biểu diễn phân bố theo kinh độ và vĩ độ, ta thấy rằng với các lớp góc nhìn vệ tinh khác nhau sẽ chỉ ra vùng điện ly tương ứng quan sát được tại mỗi trạm. Với giới hạn góc nhìn vệ tinh $\alpha > 20^\circ$ được sử dụng trong luận án này thì từ số liệu quan sát ở ba trạm thu, chúng ta có thể nghiên cứu được vùng điện ly trong khoảng vĩ độ địa lý từ 3° đến 27° và kinh độ từ 100° đến 113° . Hình 3.20b biểu diễn phân bố theo vĩ độ và thời gian chỉ ra vết của các vệ tinh nhìn thấy ở 3 trạm trong 1 ngày. Tại mỗi thời điểm quan sát mỗi trạm chỉ có thể nhìn thấy nhiều nhất khoảng 11 vệ tinh, do vậy chúng ta không thể thành lập được bản đồ TEC theo kinh độ và vĩ độ có độ tin cậy cao tại từng thời điểm quan sát chỉ từ số liệu của 3 trạm thu. Tuy nhiên chúng ta

có thể thấy rằng trong phân bố thời gian – vĩ độ của các vết vệ tinh nhìn thấy (hình 3.20b) tương đối đồng đều trong khoảng vĩ độ 3° - 27° và trong cả khoảng thời gian 24 giờ trong ngày, do vậy chúng ta hoàn toàn có thể xây dựng được bản đồ TEC ngày đêm trong dải vĩ độ đã nêu hoặc hẹp hơn nếu muốn có bản đồ với độ tin cậy cao.

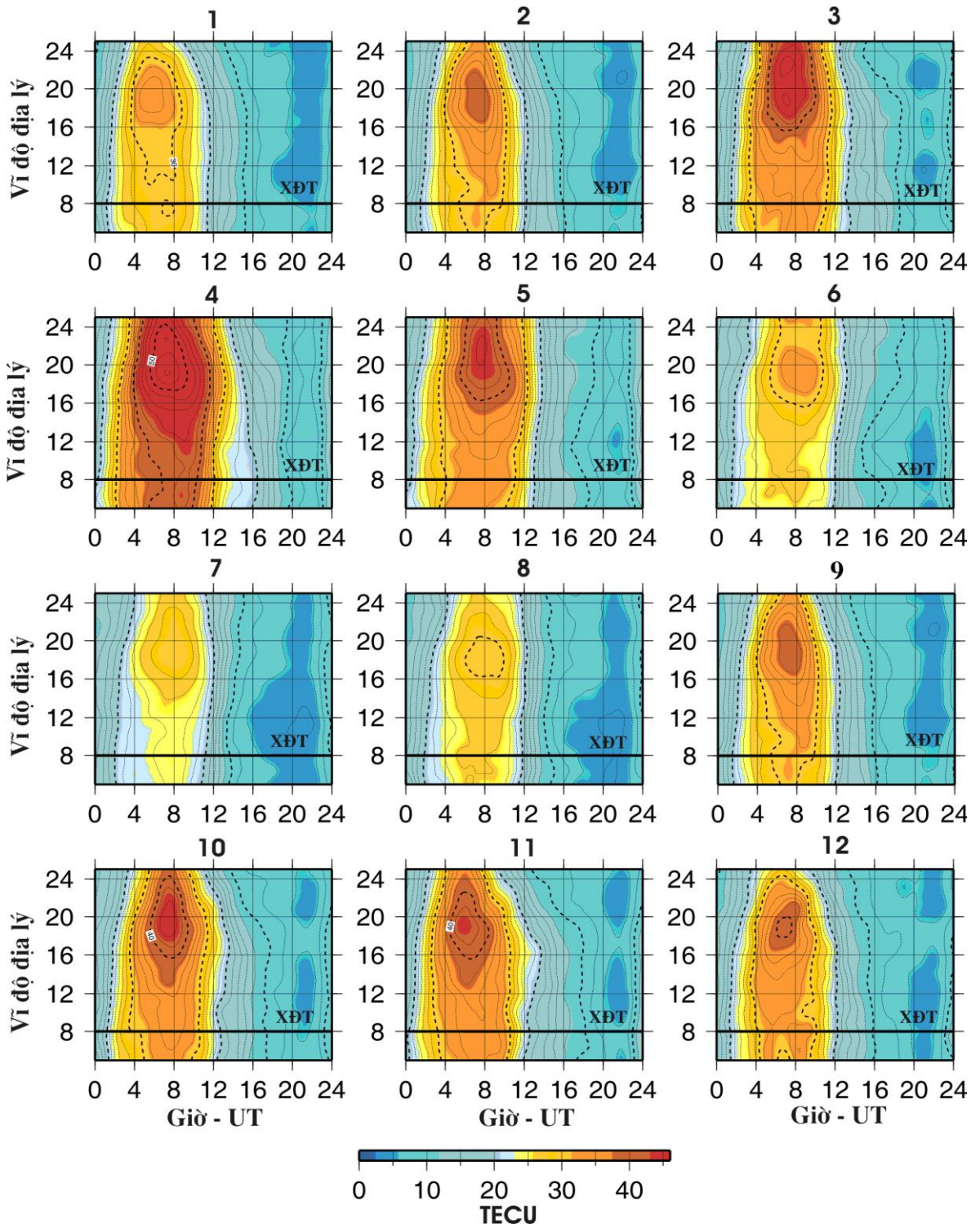


Hình 3.20, Vết của các vệ tinh với a) theo kinh độ và vĩ độ và b) theo vĩ độ và thời gian trên độ cao 400 km của tầng điện ly nhìn thấy bởi các máy thu tại Hà Nội, Huế và Tp. Hồ Chí Minh ngày 29/05/2008.

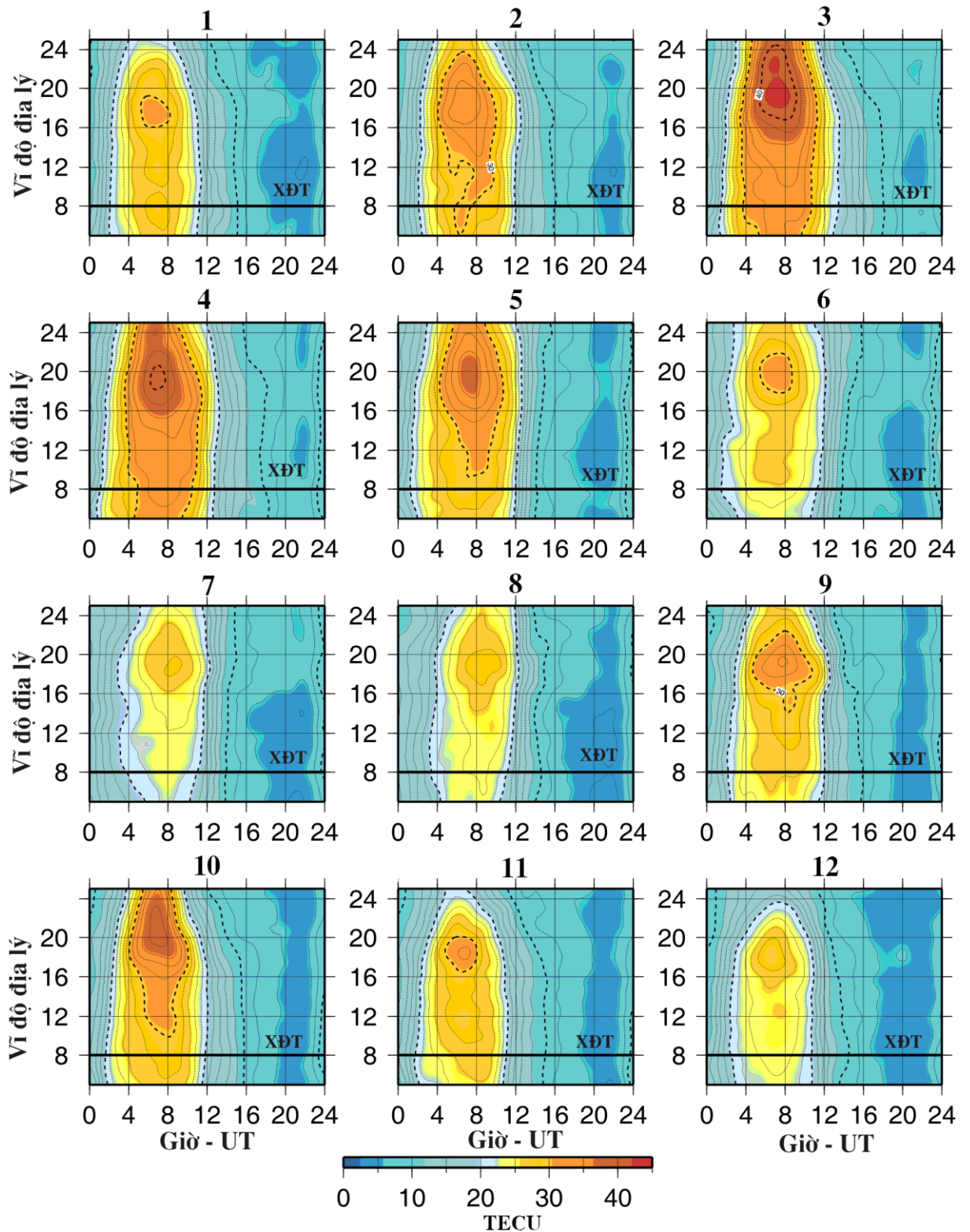
Do phân bố theo thời gian và vĩ độ của các điểm số liệu TEC không đều, nên chúng tôi dùng phương pháp trung bình trượt theo cửa sổ để tạo nên lưới số liệu gần vuông trước khi thực hiện việc lưới hóa bằng các phần mềm đồ họa, sau đó xây dựng bản đồ theo lưới số liệu đã được lưới hóa vuông. Trên cơ sở số liệu GPS liên tục của 3 trạm Hà Nội, Huế và Tp HCM, các bản đồ TEC được xây dựng cho từng ngày trong khoảng thời gian quan tâm. Sau đó để nghiên cứu các quy luật biến đổi chu kỳ dài, bản đồ TEC trung bình tháng được xây dựng.

Các hình 3.21 - 3.25 biểu thị bản đồ TEC theo thời gian và vĩ độ trung bình tháng trong khoảng thời gian 2006-2010, đơn vị là TECu, xích đạo từ nằm ở khoảng vĩ độ 8° N theo IGRF2005. Với số liệu của 3 trạm thu GPS ở Việt Nam chúng ta

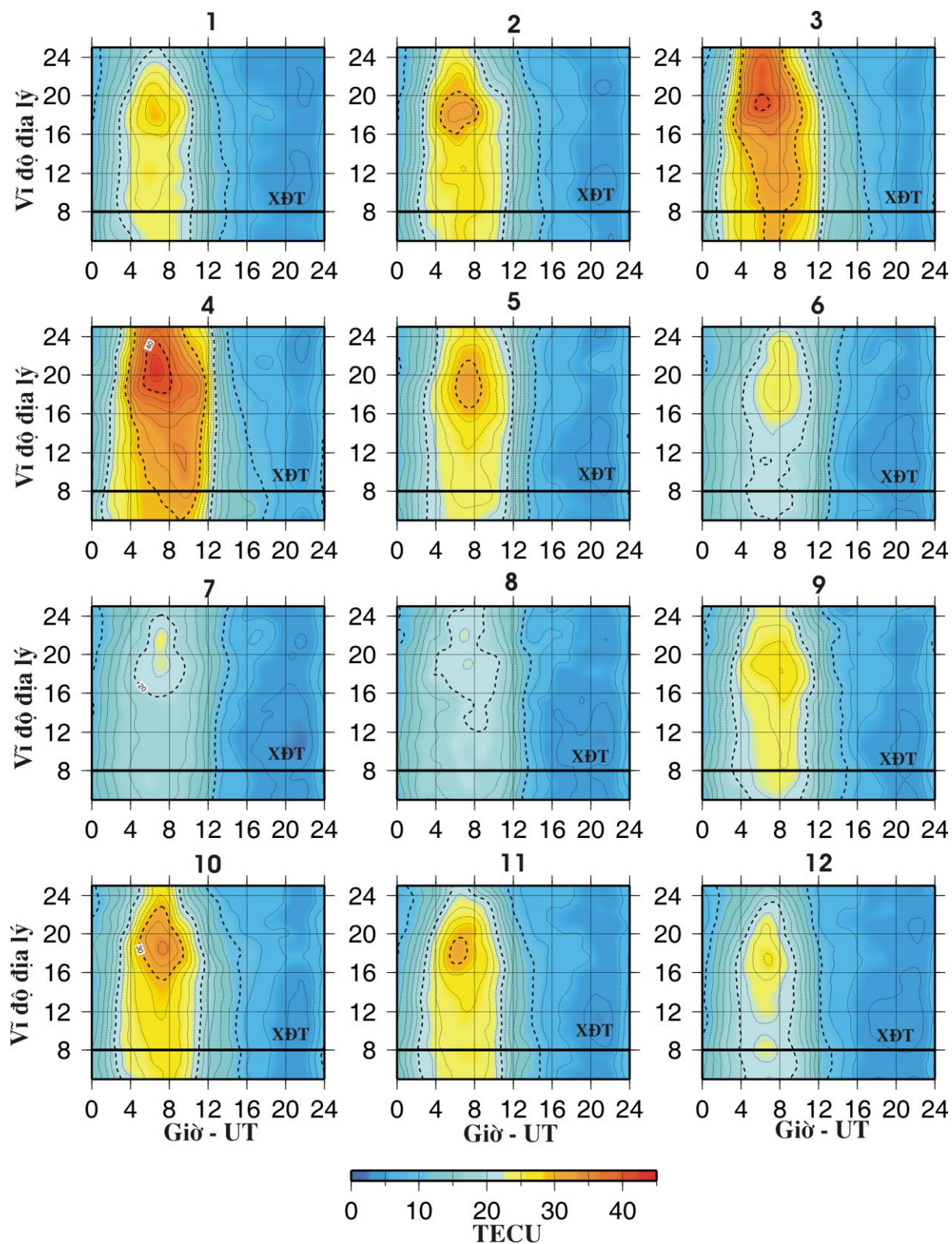
hoàn toàn có thể nghiên cứu được định dị thường phía Bắc bán cầu trong dải kinh tuyến nước ta.



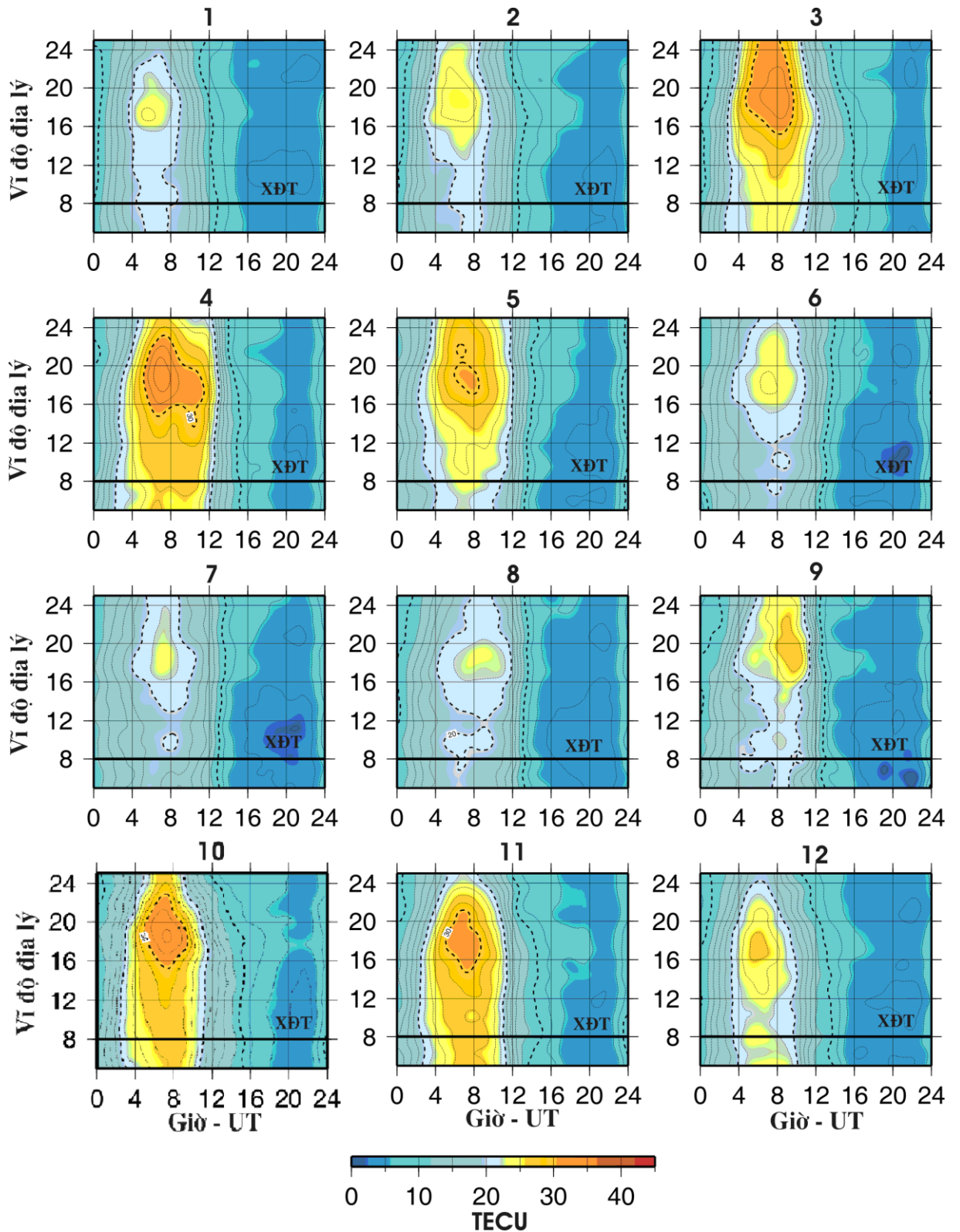
Hình 3.21, Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2006. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu.



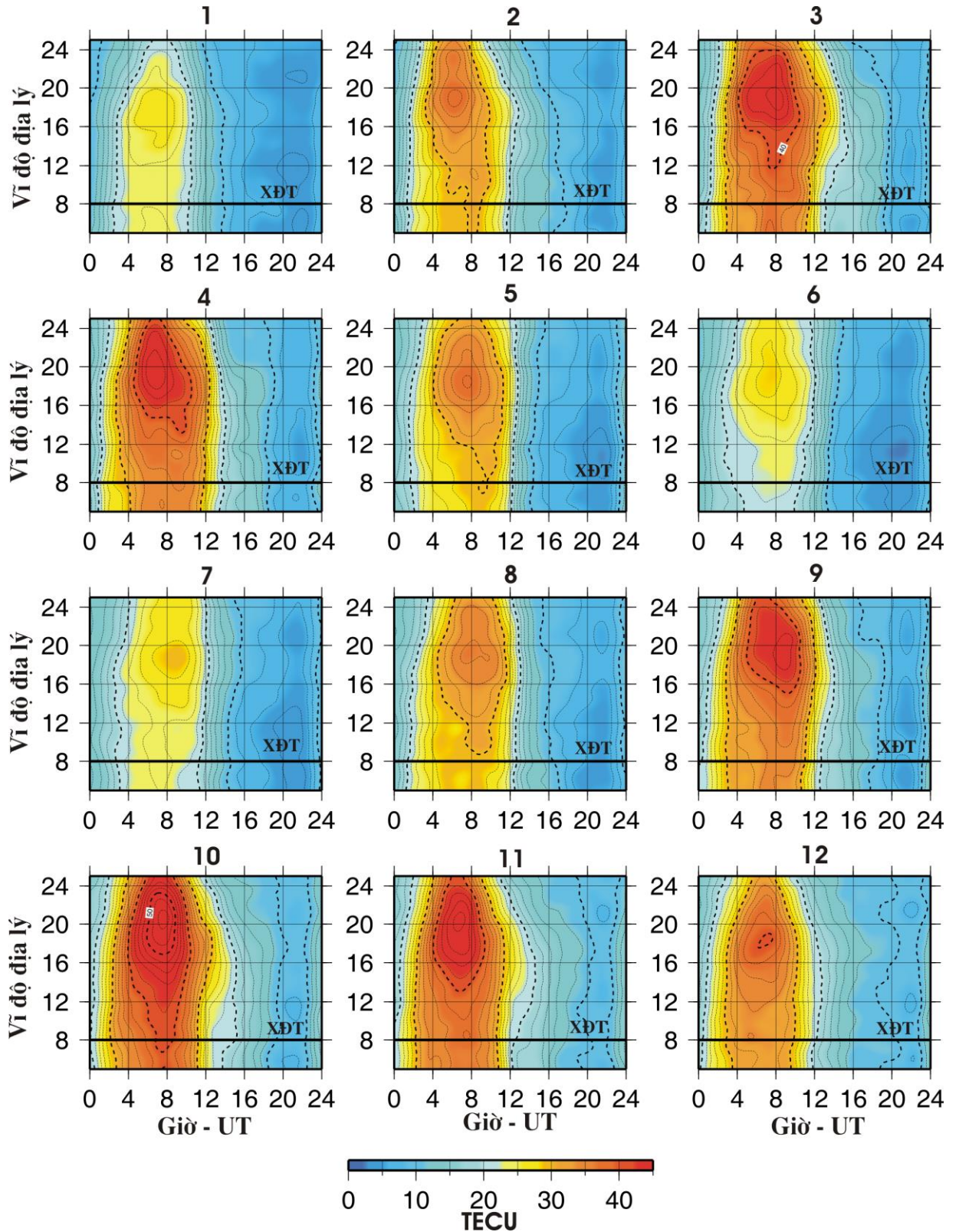
Hình 3.22, Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2007. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu.



Hình 3.23, Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2008. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu.



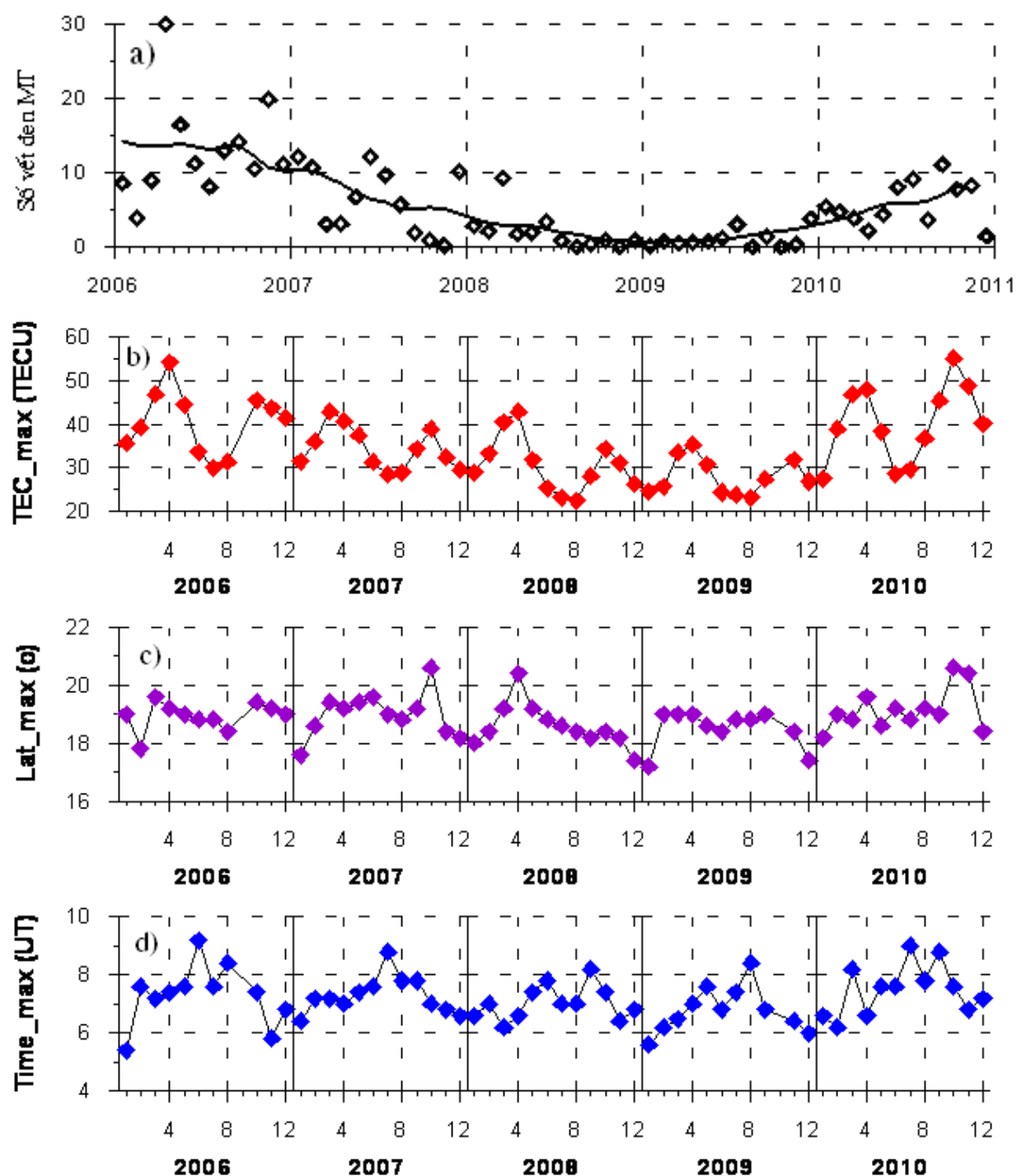
Hình 3.24, Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2009. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu.



Hình 3.25, Bản đồ theo thời gian của TEC trung bình tháng trong năm 2010. Khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 2 TECu.

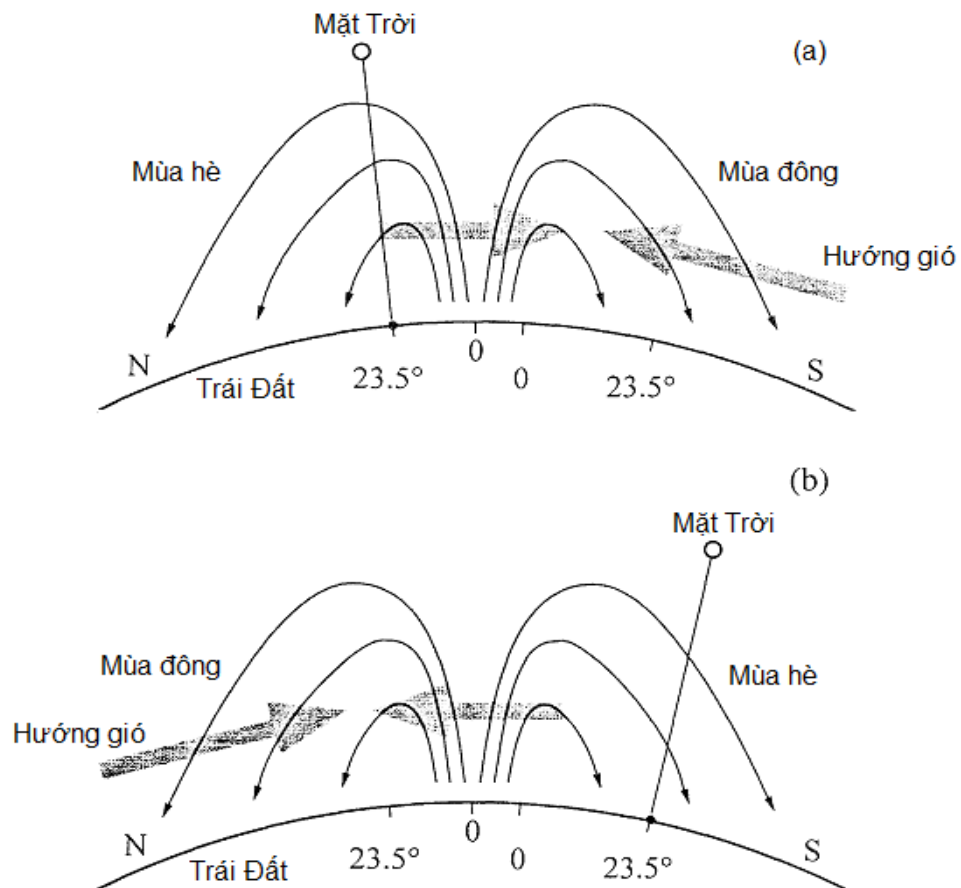
Chúng ta có thể thấy TEC trung bình có một cực đại rõ rệt ở khoảng vĩ độ 18° - 20° trong khoảng thời gian từ 5hUT đến 9hUT (12-16hLT). Bản đồ TEC chỉ ra rằng vùng phía Bắc nước ta nằm ở vùng đỉnh dị thường điện ly xích đạo, và vùng phía Nam ở vùng đáy của dị thường. Vào ban đêm từ 22hLT đến khoảng 6hLT ngày hôm sau, tầng điện ly gần như đồng nhất với giá trị TEC trung bình nhỏ hơn khoảng 10 TECu. Cơ chế hình thành dị thường điện ly xích đạo đã được trình bày chi tiết trong Chương II của luận án. Biến động của hình thái cấu trúc dị thường điện ly xích đạo phụ thuộc vào nhiều yếu tố : hoạt tính mặt trời, trường từ Trái Đất, gió trung hòa trong tầng điện ly..., do vậy nghiên cứu sự biến động của hình thái cấu trúc của các bản đồ TEC sẽ cho chúng ta hiểu biết về mối quan hệ giữa cấu trúc dị thường điện ly xích đạo vào các yếu tố đã nêu. Các đặc trưng phân bố theo vĩ độ của TEC trong vùng đỉnh dị thường khu vực Việt Nam như đã trình bày ở trên tương đồng với kết quả nghiên cứu đã công bố trước đây cho vùng kinh tuyến Ấn Độ (Rama Rao et al., [74] ; Bhuyan et al., [30]). Hình 3.26 là kết quả biểu diễn biến thiên các thông số đỉnh dị thường như biên độ cực đại TEC, vị trí đỉnh dị thường, thời gian đạt đỉnh và số vết đen mặt trời trong giai đoạn từ 2006 đến 2010. Biên độ cực đại của TEC ở đỉnh cũng biến đổi rõ rệt theo mùa và theo số vết đen mặt trời (hình 3.26a và hình 3.26b). Biên độ đỉnh TEC cực đại vào thời kỳ phân điểm, cực tiểu vào mùa hè và mùa đông. Từ năm 2006 đến khoảng tháng 3/2009 số vết đen mặt trời trung bình giảm dần (Mặt Trời ở pha hoạt động đi xuống), sau đó số vết đen mặt trời bắt đầu tăng dần (Mặt Trời ở pha hoạt động đi lên). Trong pha đi xuống, biên độ đỉnh TEC ở xuân phân cao hơn ở thu phân, trong pha đi lên thì biên độ đỉnh TEC ở thu phân cao hơn ở xuân phân. Như vậy biến thiên theo thời gian trong năm của biên độ đỉnh dị thường TEC tương tự như biến thiên theo mùa của TEC ở từng trạm, do phụ thuộc vào thành phần khí và sự cân bằng giữa quá trình sinh và mất ion trong tầng điện ly. Hình 3.26c cho thấy vị trí vĩ độ đỉnh dị thường trung bình tháng dao động trong khoảng từ 17° đến 21° và vị trí này cũng phụ thuộc vào mùa, ở xa xích đạo hơn vào những tháng phân điểm và tiến gần xích đạo nhất vào những tháng mùa đông trong năm, tuy nhiên biểu hiện quy luật mùa về vĩ độ đỉnh kém rõ ràng hơn so với quy luật mùa ở biên độ đỉnh TEC. Vị trí đỉnh dị thường

không thể hiện sự phụ thuộc vào mức độ hoạt động Mặt Trời trong giai đoạn nghiên cứu.



Hình 3.26, a) Số vết đen Mặt trời trung bình tháng; b) Biên độ đỉnh dị thường TEC ngày đêm trung bình tháng ; c) vĩ độ đỉnh dị thường và d) thời gian đạt cực đại, số liệu giai đoạn 2006-2010

Hình 3.26d trình bày một đặc trưng khác của đỉnh dị thường điện ly xích đạo là thời gian xuất hiện cực đại, chúng ta có thể thấy rằng về mùa Đông thời gian xuất hiện cực đại sớm hơn cả, tiếp đến là những tháng phân điểm và vào mùa hè dường như thời gian xuất hiện muộn hơn. Để giải thích cho các hiện tượng quan sát thấy ở trên, chúng ta sẽ xem xét mô hình phát sinh tổng thể là sự kết hợp của lý thuyết gió trung hòa chuyển qua xích đạo, vị trí điểm gần Mặt Trời và gió thổi từ vùng cực về phía xích đạo vào thời kỳ điểm chí như được chỉ ra trên hình 3.27 [83]. Theo mô hình, điểm O ở giữa chỉ vị trí xích đạo từ, điểm O bên cạnh phía phải chỉ vị trí của xích đạo địa lý và đường chí tuyến chỉ vị trí điểm gần Mặt Trời. Mũi tên ở giữa và mũi tên bên cạnh chỉ hướng của gió trung hòa thổi qua xích đạo và gió thổi từ vùng cực về phía xích đạo một cách tương ứng, và các đường vòng cung biểu thị hiệu ứng vòì phun trong tầng điện ly.



Hình 3.27, Mô hình tổng hợp lý thuyết gió trung hòa chuyển qua xích đạo, vị trí điểm gần Mặt Trời và gió thổi từ vùng cực về phía xích đạo vào thời kỳ điểm chí với a) Hạ chí nằm ở bán cầu Bắc và b) Hạ chí nằm ở bán cầu Nam (Tsai et al., [83])

Hình 3.27 chỉ ra hai trường hợp là khi bán cầu phía Bắc vào mùa hè (a) và khi bán cầu Bắc vào mùa Đông (b). Lý thuyết gió trung hòa thổi qua xích đạo như sau: gió trung hòa thổi từ bán cầu mùa Hè sang bán cầu mùa Đông sẽ vận chuyển các ion ở bán cầu mùa hè sang bán cầu mùa đông, do đó làm cản trở sự phát triển của vùng dị thường ở bán cầu mùa Hè và làm gia tăng đỉnh dị thường ở bán cầu mùa Đông. Mặt khác theo lý thuyết gió thổi từ vùng cực về phía xích đạo ở bán cầu mùa Đông sẽ duy trì mật độ điện tử cho đỉnh dị thường ở bán cầu mùa Đông và đẩy đỉnh dị thường dịch về phía xích đạo. Đây là nguyên nhân tại sao ta quan sát thấy vị trí đỉnh dị thường nằm gần xích đạo hơn vào mùa đông như đã chỉ ra ở *hình 3.26c*. Nhìn vào *hình 3.27* ta cũng nhận thấy rằng tại bán cầu Bắc điểm vị trí điểm gần Mặt Trời vào mùa Hè gần xích đạo từ và vào mùa đông lại xa xích đạo từ hơn. Walker et al. [90] đã thống kê biến thiên theo mùa của TEC ở cả hai vùng đỉnh dị thường cũng đã tìm ra đỉnh dị thường về mùa đông thường đạt được sớm hơn và muộn hơn về mùa hè. Họ cho rằng khi điểm gần Mặt Trời nằm ở vĩ độ trung bình không gần với xích đạo từ (mùa đông ở bán cầu Bắc *hình 3.27b*) thì khi đó chủ yếu quá trình quang ion hóa mặt trời và quá trình vận chuyển plasma xích đạo tầng điện ly chiếm ưu thế và thời điểm đạt cực đại sẽ vào khoảng giữa trưa địa phương (12h LT). Mặt khác khi vị trí điểm gần Mặt Trời gần với xích đạo từ (mùa hè ở bán cầu Bắc *hình 3.27a*) sẽ làm suy giảm đáng kể giá trị TEC trong vùng do làm tăng quá trình khuếch tán dẫn đến tăng quá trình tái hợp các ion và electron. Quá trình này chiếm ưu thế so với quá trình quang ion hóa mặt trời và quá trình vận chuyển plasma xích đạo tầng điện ly trong vùng này, và thời điểm đạt cực đại sẽ muộn hơn so với mùa Đông. Đây là nguyên nhân tại sao vào mùa Đông thời gian đạt cực đại thường sớm hơn và vào mùa hè thì muộn hơn như đã quan sát thấy trên *hình 3.26d*. Tuy nhiên, giải thích trên mang tính chất định tính, cần xây dựng các mô hình vật lý và tính toán định lượng dựa trên các số liệu đo đạc trong khu vực.

Có thể tóm tắt một số kết quả nghiên cứu đã trình bày trong chương như sau:

- Tiến trình ngày đêm của nồng độ điện tử tổng cộng ở 3 trạm khu vực Việt Nam thay đổi liên tục theo thời gian trong ngày, đạt cực đại vào khoảng 14-15 giờ

chiều và cực tiểu vào khoảng 5 giờ sáng địa phương với biên độ dao động trung bình tháng trong khoảng từ 5TECu đến 50TECu.

- Biên độ ngày đêm TEC thể hiện biến thiên mùa rõ rệt, đạt hai cực đại vào thời kỳ phân điểm hàng năm: xuân phân (tháng 3-4) và thu phân (tháng 9-10) và cực tiểu vào những tháng mùa đông và mùa hè.

- Giá trị nồng độ điện tử biến đổi theo hoạt động của mặt trời, trong pha hoạt động mặt trời đi xuống cực đại xuân phân cao hơn cực đại thu phân, trong pha hoạt động mặt trời đi lên thì ngược lại cực đại xuân phân thấp hơn cực đại thu phân.

- Vị trí vĩ độ đỉnh dị thường khu vực Việt Nam dao động trong khoảng từ 17° đến 20° vĩ độ địa lý và vị trí này cũng phụ thuộc vào mùa trong năm, ở xa xích đạo hơn vào những tháng phân điểm và tiến gần xích đạo nhất vào những tháng mùa đông. Biên độ của đỉnh dị thường gia tăng theo hoạt động mặt trời nhưng vị trí đỉnh dị thường dường như không thể hiện sự phụ thuộc vào mức độ hoạt động mặt trời.

