

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

---

**LUẬN VĂN THẠC SỸ KỸ THUẬT**

**NGÀNH: THIẾT BỊ, MẠNG VÀ NHÀ MÁY ĐIỆN**

**ĐIỀU KHIỂN THIẾT BỊ BÙ TĨNH (SVC) VÀ ỨNG DỤNG  
TRONG VIỆC NÂNG CAO CHO ỔN ĐỊNH CHẤT LƯỢNG  
ĐIỆN NĂNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN**

**Học viên: Nguyễn Thế Vĩnh**

**Người HD Khoa học: T.S Nguyễn Thanh Liêm**

THÁI NGUYÊN 2007

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan bản thuyết minh luận văn này do tôi thực hiện. Các số liệu sử dụng trong thuyết minh, kết quả phân tích và tính toán được tìm hiểu qua các tài liệu.

## MUC LỤC

|   |           |
|---|-----------|
| Danh mục ký hiệu và chữ viết tắt .....  | 6         |
| Danh mục các bảng biểu .....  | 7         |
| Danh mục các hình vẽ, đồ thị.....   | 9         |
| Lời nói đầu .....   | 11        |
| <b>Chương 1: Thiết bị điều khiển công suất trong hệ thống điện .....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1. Hệ thống điện hợp nhất và những yêu cầu điều chỉnh nhanh công suất trong các điều kiện làm việc bình thường và sự cố ..... | 13        |
| 1.1.1. Đặc điểm .....   | 13        |
| 1.1.2. Các biện pháp áp dụng trong công nghệ truyền tải điện của hệ thống điện hợp nhất.....                                    | 14        |
| 1.1.3. Bù công suất phản kháng .....  | 14        |
| 1.1.4. Bù dọc và bù ngang trong đường dây siêu cao áp .....   | 16        |
| 1.1.4.1. Bù dọc .....   | 16        |
| 1.1.4.2. Bù ngang .....   | 18        |
| 1.1.4.3. Nhận xét .....   | 20        |
| 1.2. Một số thiết bị điều khiển công suất phản kháng trong hệ thống điện .....  | 20        |
| 1.2.1. Thiết bị bù tĩnh điều khiển bằng thyristor<br>(SVC - Static Var Compensator) .....                                       | 20        |
| 1.2.2. Thiết bị bù dọc điều khiển bằng thyristor<br>(TCSC - Thyristor Controlled Series Capacitor) .....                        | 22        |
| 1.2.3. Thiết bị bù tĩnh (STATCOM - Static Synchronous Compensator) .....  | 23        |
| 1.2.4. Thiết bị điều khiển dòng công suất<br>(UPFC - Unified Power Flow Controller).....  | 24        |
| 1.2.5. Thiết bị điều khiển góc pha bằng thyristor   |           |

|  |           |
|--|-----------|
| (TCPAR - Thyristor Controlled Phase Angle Regulator).....                            | 26        |
| 1.2.6. Nhận xét .....  | 27        |
| Kết luận .....   | 27        |
| <br>   |           |
| <b>Chương 2: Ứng dụng của thiết bị bù SVC trong việc nâng cao ổn định</b>            |           |
| <b>hệ thống điện.....</b>  | <b>29</b> |
| 2.1. Khả năng ứng dụng của SVC trong hệ thống điện .....                             | 29        |
| 2.1.1. Đặt vấn đề .....  | 29        |
| 2.1.2. Một số ứng dụng của SVC .....   | 30        |
| 2.1.2.1. Điều chỉnh điện áp và trào lưu công suất.....                               | 30        |
| 2.1.2.2. Giới hạn thời gian và cường độ quá áp khi xảy ra sự cố .....                | 32        |
| 2.1.2.3. Ôn hòa dao động công suất hữu công .....                                    | 33        |
| 2.1.2.4. Giảm cường độ dòng điện vô công .....                                       | 33        |
| 2.1.2.5. Tăng khả năng tải của đường dây .....                                       | 33        |
| 2.1.2.6. Cân bằng các phụ tải không đối xứng.....                                    | 36        |
| 2.1.2.7. Cải thiện ổn định sau sự cố .....   | 36        |
| 2.2. Thiết bị bù ngang có điều khiển SVC .....                                       | 37        |
| 2.2.1. Cấu tạo từng phần tử của SVC.....   | 37        |
| 2.2.1.1. Nguyên lý hoạt động của bộ thyristor mắc song song ngược .....              | 37        |
| 2.2.1.2. Kháng điều chỉnh bằng thyristor TCR<br>(thyristor controlled reactor) ..... | 40        |
| 2.2.1.3. Tự đóng mở bằng thyristor TSC ( thyristor switch capacitor) .....           | 49        |
| 2.2.1.4. Kháng đóng mở bằng thyristor TSR ( thyristor switch reactor) .....          | 49        |
| 2.2.1.5. Hệ thống điều khiển các van trong SVC.....                                  | 50        |
| 2.2.2. Các đặc tính của SVC.....   | 51        |
| 2.2.2.1. Đặc tính điều chỉnh của SVC.....  | 51        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.2.2. Đặc tính làm việc của SVC .....                                | 52        |
| 2.3. Mô hình SVC trong tính toán chế độ xác lập của hệ thống điện ..... | 53        |
| 2.3.1. Mô hình hóa SVC như một điện kháng có trị số thay đổi .....      | 53        |
| 2.3.2. Mô hình SVC theo tổ hợp nguồn và phụ tải phản kháng.....         | 55        |
| Kết luận .....  | 58        |
| <br>  |           |
| <b>Chương 3: Bộ điều khiển bù công suất phản kháng SVC.....</b>         | <b>59</b> |
| 3.1. Sơ đồ SVC ứng dụng điều khiển bù công suất phản kháng.....         | 59        |
| 3.1.1. Chức năng hệ điều khiển.....                                     | 60        |
| 3.1.2. Nguyên tắc điều khiển.....                                       | 60        |
| 3.1.3. Các khâu trong hệ thống điều khiển các van của SVC .....         | 61        |
| 3.1.3.1. Khâu tạo xung đồng bộ cho bộ VĐK.....                          | 61        |
| 3.1.3.2. Khâu phản hồi .....  | 62        |
| 3.1.3.3. Khâu khuếch đại xung.....                                      | 63        |
| 3.1.3.4. Khâu điều khiển tạo xung sử dụng VĐK pic 16f877.....           | 64        |
| 3.1.4. Thuật toán PID dùng cho bộ vi điều khiển PIC16f877.....          | 69        |
| 3.1.4.1. Bộ điều khiển PID dưới dạng tương tự.....                      | 69        |
| 3.1.4.2. Bộ điều khiển PID dưới dạng số .....                           | 70        |
| 3.1.4.3. Thuật toán điều khiển PID nâng cao .....                       | 70        |
| 3.1.5. Sơ đồ nguyên lý hệ điều khiển góc mở các van của SVC .....       | 71        |
| 3.2. Phần mềm ISIS mô phỏng hệ thống điều khiển SVC.....                | 71        |
| 3.3. Mô phỏng hệ điều khiển van thyristor hoặc triac của bộ TCR .....   | 72        |
| 3.3.1. Mô phỏng các phần tử của hệ điều khiển.....                      | 72        |
| 3.3.1.1. Bộ đo giá trị dòng điện và điện áp .....                       | 72        |
| 3.3.1.2. Khâu lấy tín hiệu phản hồi .....                               | 72        |
| 3.3.1.3. Khâu tạo xung đồng bộ .....                                    | 73        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.1.4. Khâu khuếch đại xung.....  | 74        |
| 3.3.1.5. Khâu điều khiển xung .....   | 75        |
| 3.3.2. Các phần tử khác trong mô phỏng .....                                      | 76        |
| 3.3.2.1. Nguồn điện.....  | 76        |
| 3.3.2.2. Bộ kháng có điều khiển TCR.....  | 77        |
| Kết luận .....  | 78        |
| <br>  |           |
| <b>Chương 4: ứng dụng phần mềm ISIS mô phỏng thiết bị bù SVC có điều khiển ..</b> | <b>79</b> |
| 4.1. Sơ đồ mô phỏng thiết bị bù công suất phản kháng SVC có điều khiển.....       | 79        |
| 4.2. Kết quả mô phỏng .....   | 79        |
| 4.2.1. Đồ thị điều khiển xung theo chế độ điện áp thay đổi.....                   | 80        |
| 4.2.2. Đặc tính dòng qua thyristor điện khi điều khiển điện áp tại nút .....      | 83        |
| 4.3. Đặc tính hệ thống điều khiển các van SVC .....                               | 89        |
| Kết luận .....  | 92        |
| Kết luận chung và hướng phát triển .....  | 93        |
| <br>  |           |
| Tài liệu tham khảo.....   |           |
| Phụ lục 1 .....   |           |
| Phụ lục 2 .....   |           |

## DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

| STT | Chữ viết tắt | Ý nghĩa   | Chú thích                           |
|-----|--------------|---|-------------------------------------|
| 1   | HTĐ          | Hệ thống điện                                     |                                     |
| 2   | SVC          | Static Var Compensator                            |                                     |
| 3   | TCSC         | Thyristor Controlled Series Capacitor             |                                     |
| 4   | STATCOM      | Static Synchronous Compensator                    |                                     |
| 5   | UPFC         | Unified Power Flow Controller                     |                                     |
| 6   | TCPAR        | Thyristor Controlled Phase Angle Regulator        |                                     |
| 7   | FACTS        | Flexible Alternating Current Transmission Systems |                                     |
| 8   | ISIS         | Proteus 6 Professional                            | Phần mềm mô phỏng mạch điện-điện tử |
| 9   | PCB          | Printed Circuit Board                             |                                     |
| 10  | VĐK          | Bộ vi điều khiển                                  |                                     |
| 11  | SS-TX        | Khâu so sánh và tạo xung                          |                                     |

## DANH MỤC CÁC BẢNG

|   |    |
|---|----|
| Bảng 1-1: So sánh chức năng của các thiết bị bù có điều khiển .....         | 27 |
| Bảng 2-1: Giá trị của $I_3$ khi thay đổi góc điều khiển $\alpha$ .....      | 47 |
| Bảng 3-1: Các phần tử sử dụng trong bộ đo .....                             | 72 |
| Bảng 3-2: Các phần tử sử dụng trong bộ phản hồi .....                       | 73 |
| Bảng 3-3: Các phần tử sử dụng trong bộ tạo xung đồng bộ .....               | 74 |
| Bảng 3-4: Các phần tử sử dụng trong bộ khuếch đại xung .....                | 75 |
| Bảng 3-5: Các dạng nguồn được ISIS mô phỏng .....                           | 77 |
| Bảng 3-6: Các phần tử tạo thành bộ TCR .....                                | 78 |
| Bảng 4-1: Tổng hợp thời gian làm ổn định điện áp tại nút trường hợp 1 ..... | 90 |
| Bảng 4-2: Tổng hợp thời gian làm ổn định điện áp tại nút trường hợp 2 ..... | 92 |



## DANH MỤC CÁC HÌNH, ĐỒ THỊ

|  |    |
|--|----|
| Hình 1.1: Hiệu quả của bù dọc trên đường dây siêu cao áp.....                    | 17 |
| Hình 1.2: Cấu tạo và nguyên lý làm việc của SVC.....                             | 21 |
| Hình 1.3: Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của TCSC .....                          | 22 |
| Hình 1.4: Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của STATCOM.....                        | 23 |
| Hình 1.5: Nguyên lý cấu tạo của UPFC.....  | 24 |
| Hình 1.6: Nguyên lý cấu tạo của TCPAR.....                                       | 26 |
| Hình 2.1: Điều chỉnh điện áp tại nút phụ tải bằng SVC.....                       | 31 |
| Hình 2.2: Sự thay đổi điện áp tại thanh cái phụ tải khi có và không có SVC.....  | 32 |
| Hình 2.3: Quan hệ thời gian và điện áp quá áp.....                               | 32 |
| Hình 2.4: Đặc tính công suất truyền tải của hệ thống khi có và không có SVC..... | 35 |
| Hình 2.5: Đặc tính công suất khi có và không có SVC .....                        | 37 |
| Hình 2.6: Sơ đồ nguyên lý bộ thyristor.....                                      | 38 |
| Hình 2.7: Đồ thị dòng điện tải.....  | 38 |
| Hình 2.8: Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của TCR .....                           | 40 |
| Hình 2.9: Đặc tính điều chỉnh liên tục của TCR.....                              | 41 |
| Hình 2.10: Ảnh hưởng của góc cắt đến dòng điện qua TCR .....                     | 41 |
| Hình 2.11: Dạng sóng của tín hiệu dòng điện qua TCR .....                        | 42 |
| Hình 2.12: Đặc tính điều chỉnh dòng điện TCR theo góc cắt.....                   | 46 |
| Hình 2.13: Các sóng hài bậc cao trong phần tử TCR .....                          | 46 |
| Hình 2.14: Sơ đồ và nguyên lý hoạt động của TSC.....                             | 49 |
| Hình 2.15: Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của TSR.....                           | 50 |
| Hình 2.16: Hệ điều khiển các van của SVC.....                                    | 51 |
| Hình 2.17: Đặc tính U-I của SVC .....  | 51 |
| Hình 2.18: Đặc tính làm việc của SVC điều chỉnh theo điện áp .....               | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Hình 2.19: Đặc tính làm việc của nguồn công suất phản.....                                     | 55 |
| Hình 2.20: Đặc tính của phụ tải công suất phản kháng qua máy biến áp điều áp<br>dưới tải ..... | 55 |
| Hình 2.21: Đặc tính làm việc của SVC .....   | 56 |
| Hình 2.22: Phối hợp đặc tính của một nguồn và hai phụ tải phản kháng .....                     | 57 |
| Hình 3.1: Sơ đồ khối của hệ điều khiển các van SVC .....                                       | 59 |
| Hình 3.2: Nguyên tắc điều khiển thẳng đứng .....   | 61 |
| Hình 3.3: Sơ đồ nguyên lý của khâu tạo xung đồng bộ .....                                      | 62 |
| Hình 3.4: Sơ đồ nguyên lý của khâu phản hồi .....  | 63 |
| Hình 3.5: Sơ đồ nguyên lý của khâu khuếch đại xung.....  | 64 |
| Hình 3.6: Sơ đồ cấu trúc của PIC 16f877 .....  | 66 |
| Hình 3.7: Sơ đồ mô phỏng bộ phản hồi .....   | 73 |
| Hình 3.8: Đồ thị tín hiệu ra của bộ phản hồi.....  | 73 |
| Hình 3.9: Sơ đồ mô phỏng bộ tạo xung đồng bộ .....   | 74 |
| Hình 3.10: Đồ thị tín hiệu ra của bộ tạo xung đồng bộ.....                                     | 74 |
| Hình 3.11: Sơ đồ mô phỏng bộ khuếch đại xung.....  | 75 |
| Hình 3.12: Đồ thị tín hiệu ra của bộ khuếch đại xung .....                                     | 75 |
| Hình 3.13: Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển xung .....   | 76 |
| Hình 3.14: Đồ thị tín hiệu ra của bộ điều khiển xung.....                                      | 76 |
| Hình 3.15: Cửa sổ thay đổi dạng nguồn.....   | 77 |
| Hình 3.16: Sơ đồ mô phỏng bộ TCR .....   | 78 |
| Hình 4.1: Sơ đồ mô phỏng tổng thể hệ điều khiển các van của TCR .....                          | 79 |
| Hình 4.2: Xung điều khiển ra với góc mở $10^0$ .....   | 80 |
| Hình 4.3: Xung điều khiển ra với góc mở $30^0$ .....   | 80 |
| Hình 4.4: Xung điều khiển ra với góc mở $45^0$ .....   | 81 |
| Hình 4.5: Xung điều khiển ra với góc mở $90^0$ .....   | 81 |