BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM
KHOA ĐÀO TẠO CHẤT LƯỢNG CAO

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
NGÀNH CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MẶT CẮT TỐI THIỂU CHỐNG QUÁ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

GVHD: PGS.TS TRƯƠNG VIỆT ANH
SVTH: TRẦN XUÂN BÁCH
MSSV: 11142212
SVTH: NGUYỄN VIỆT HƯNG
MSSV: 11142234

SKL004272

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 1/2016

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

KHOA ĐÀO TẠO CHẤT LƯỢNG CAO

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MẶT CẮT TỐI THIỂU CHỐNG QUÁ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

SVTH1: TRẦN XUÂN BÁCH **MSSV: 11142212**

SVTH2: NGUYỄN VIỆT HƯNG **MSSV: 11142234**

Khóa: 2011 – 2015

Ngành: CN – KT ĐIỆN, ĐIỆN TỬ

GVHD: PGS.TS TRƯƠNG VIỆT ANH

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 1 năm 2016

ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM
KHOA ĐÀO TẠO
CHẤT LƯỢNG CAO
www.fhq.hcmute.edu.vn

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc
---***---

Tp. Hồ Chí Minh, ngày … tháng … năm 2016

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên sinh viên: **TRẦN XUÂN BÁCH** MSSV: **11142212**
NGUYỄN VIỆT HƯNG MSSV: **11142234**
Ngành: **KỸ THUẬT ĐIỆN – ĐIỆN TỬ** Lớp: **11142CLC**
Giảng viên hướng dẫn: **PGS.TS TRƯƠNG VIỆT ANH** ĐT: **0913117659**

1. Tên đề tài :

"NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MẶT CẮT TỐI THIỂU CHỐNG QUÁ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN"

2. Các số liệu ban đầu :

.....

3. Nội dung các phần thuyết minh:

.....
.....
.....

4. Các bản vẽ đồ thị:

.....
.....

5. Ngày nhận đề tài:….10/2015.....
6. Ngày nộp đề tài:…...01/2016.....

Ngày……tháng……năm 2016 **Ngày……tháng……năm 2016**
Chủ nhiệm bộ môn **Giáo Viên hướng dẫn**
(Ký & ghi rõ họ tên) *(Ký &*

ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM
KHOA ĐÀO TẠO
CHẤT LƯỢNG CAO
www.fhq.hcmute.edu.vn

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

----***----

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN HƯỚNG DẪN

Họ và tên sinh viên: **TRẦN XUÂN BÁCH** MSSV: **11142212**

NGUYỄN VIỆT HƯNG MSSV: **11142234**

Ngành: **CN – KT Điện, Điện tử**

Tên đề tài: **NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MẶT CẮT TỐI THIỂU CHỐNG QUÁ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN**

Họ và tên Giáo viên hướng dẫn: **PGS.TS TRƯƠNG VIỆT ANH**

NHẬN XÉT

1. Về nội dung đề tài và khối lượng thực hiện

.....
.....
.....

2. Ưu điểm:

.....
.....
.....

3. Khuyết điểm:

.....
.....

4. Đề nghị cho bảo vệ hay không?

.....

5. Đánh giá loại

.....

6. Điểm.....(Bằng chữ.....)

Tp. Hồ Chí Minh, ngày tháng năm 2016

Giáo viên hướng dẫn

(Ký và ghi rõ họ tên)

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM
KHOA ĐÀO TẠO
CHẤT LƯỢNG CAO
www.fhq.hcmute.edu.vn

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

----*----**

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN PHẢN BIỆN

Họ và tên sinh viên: **TRẦN XUÂN BÁCH** MSSV: **11142212**

NGUYỄN VIỆT HƯNG MSSV: **11142234**

Ngành: **CN – KT Điện, Điện tử**

Tên đề tài: **NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MẶT CẮT TỐI THIỂU CHỐNG QUÁ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN**

Họ và tên Giáo viên phản biện: **TS. LÊ MỸ HÀ**

NHẬN XÉT

1. Về nội dung đề tài và khối lượng thực hiện

.....

.....

2. Ưu điểm:

.....

.....

.....

3. Khuyết điểm:

.....

.....

.....

4. Đề nghị cho bảo vệ hay không?

.....

5. Đánh giá loại

.....

6. Điểm.....(Bằng chữ..... .....)

Tp. Hồ Chí Minh, ngày tháng năm 2016

Giáo viên phản biện

(Ký và ghi rõ họ tên)

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên chúng em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến thầy PGS.TS TRƯƠNG VIỆT ANH, người đã tận tình giúp đỡ và chỉ bảo nhóm trong suốt thời gian làm luận văn. Chúng em xin gửi lời cảm ơn đến các thầy cô trong khoa Điện và khoa Đào tạo Chất lượng cao đã tận tình chỉ bảo giúp em hoàn thành tốt luận văn này.

Xin chân thành cảm ơn quý Thầy, Cô, những người đã giảng dạy và truyền đạt cho chúng em những tri thức khoa học giúp em trưởng thành trong suốt quá trình theo học tại trường.

Ngoài ra chúng em xin cảm ơn gia đình, bạn bè đã động viên giúp đỡ và tạo điều kiện tốt nhất cho chúng em đạt được thành quả ngày hôm nay.

Trong quá trình nghiên cứu và làm đồ án, vì chưa có kinh nghiệm thực tế, chỉ dựa vào lý thuyết đã học cùng với thời gian hạn hẹp nên đồ án chắc chắn sẽ không tránh khỏi những sai sót. Kính mong nhận được sự góp ý, nhận xét từ phía quý Thầy, Cô cũng như anh, chị đi trước để kiến thức của chúng em ngày càng hoàn thiện hơn và rút ra được những kinh nghiệm bổ ích có thể áp dụng vào thực tiễn một cách hiệu quả trong tương lai.

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

TÓM TẮT

Những hệ thống điện hiện hữu luôn tồn tại các nhánh xung yếu nhất có khả năng dẫn đến quá tải thường xuyên. Khi mạng lưới truyền tải điện bị quá tải sẽ là một trong những nguyên nhân dẫn đến hệ thống bị sụp đổ. Bằng nhiều giải pháp, các nhà cung cấp điện luôn tìm cách giảm suất sự cố để hệ thống điện về gần với trạng thái ổn định. Một trong những giải pháp được đề cập trong nội dung nghiên cứu này là ứng dụng tính hiệu quả của TCSC trong điều khiển dòng công suất trên lưới điện để chống quá tải. Để giải quyết bài toán đặt ra, nội dung nghiên cứu được trình bày như sau.

Nghiên cứu lý thuyết mặt cắt tối thiểu, ứng dụng giải thuật của chương trình max-flow xác định tập hợp những nhánh yếu nhất của hệ thống điện, mở ra nhiều hướng nghiên cứu mới cho bài toán chống quá tải. Nội dung nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, vấn đề cốt lõi của bài toán chống quá tải là làm sao xác định được điểm quá tải thường xuyên. Giải thuật đã đề xuất giải quyết được vấn đề này. Hướng tiếp cận mới trong nội dung nghiên cứu này chính là sự kết hợp giữa giải thuật đề xuất và phần mềm giải bài toán phân bố công suất Powerworld cùng với tính năng ưu việt của TCSC để chống quá tải hệ thống điện. Kết quả của sự kết hợp là lưu đồ xác đinh vị trí và dung lượng bù tối ưu của TCSC trên lưới điện truyền tải.

Tính hiệu quả và khả năng ứng dụng của giải pháp đã đề xuất được kiểm chứng trên hệ thống điện truyền tải.

ABSTRACT

The existing electrical system there is always the most critical branch is likely to lead to frequent overload. When the transmission network will be one of the causes leading to system collapse. By many measures, the power supply always looking for ways to reduce the problem to the system capacity close to the steady state. One of the solutions mentioned in the content of this research is the effective application of TCST control power flows of the gird to overload. To slove the problem posed, research contents are as flows.

Research minimum cut-set theoretically, suggested max-flow algorithms application to determine collect electrical system's most weak branchs open up many new research problems against overload. Content research also indicates that, matter of anti-overload problem is how to define such overload often. Algorithms proposed solving this problem. Approaches in the contens of this research is the combination of proposed algorithms and software power distribution calculation Powerworld with premium features of TCSC to flight overload the electrical system. The result of the combination is to locate and map the optimal compensation of TCST capacity os the transmission gird

The effectiveness and the applicability of the proposed solution has been tested on the electricity transmission system

Mục lục

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP i
PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN HƯỚNG DẪN ii
PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN PHẢN BIỆN iii
LỜI CẢM ƠN iv
TÓM TẮT v
ABSTRACT vi
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT ix
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU x
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH xi
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN 1
1.1 . ĐẶT VẤN ĐỀ: 1
1.1.1 . Mục tiêu và giới hạn của đề tài: 2
1.1.2 . Giá trị thực tiễn của đề tài: 3
1.2 . NÂNG CAO KHẢ NĂNG TRUYỀN TẢI CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN: 3
1.3 . CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU TRƯỚC ĐÂY: 5
1.3.1 . Điều độ kế hoạch nguồn phát điện: 5
1.3.2 . Điều độ tải: 6
1.3.3 . Mở rộng đường dây truyền tải: 7
1.4 . CÁC THIẾT BỊ FACTS: 9
1.4.1 . Bộ bù công suất Var tĩnh SVC *(Static Var Compensator):* 9
1.4.2 . Bộ bù đồng bộ tĩnh STATCOM (Static Synchronous Compensator): 11
1.4.3 . Bộ bù nối tiếp đồng bộ tĩnh – SSSC: 13
1.4.4 . Bộ điều khiển dòng công suất hợp nhất - UPFC (*Unified Power Flow Controlled*): 13
1.4.5 . Bộ bù dọc điều khiển bằng Thyristor TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor): 14
1.5 . ĐỀ XUẤT PHƯƠNG ÁN SỬ DỤNG TCSC: 16
1.5.1 . Giải quyết để hết quá tải khi tăng tải: 16
1.5.2 . Nhận xét: 19
1.6 . NHẬN XÉT VÀ ĐỀ XUẤT SỬ DỤNG MẶT CẮT TỐI THIỂU: 19

1.6.1 . Nhận xét: 19
1.6.2 . Đề xuất sử dụng mặt cắt tối thiểu: 21
1.6.2.1 . Giới thiệu: 21
1.6.2.2 . Lý thuyết về mặt cắt tối thiểu dòng công suất cực đại: 23
1.7 . ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN: 24
CHƯƠNG 2: MÔ HÌNH TOÁN HỌC 30
2.1. BÀI TOÁN PHÂN BỐ CÔNG SUẤT: 30
2.2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH MẶT CẮT TỐI THIỂU: 34
2.2.1. Giải thuật: 34
2.2.2. Nhận xét: 35
2.3. LƯU ĐỒ XÁC ĐỊNH MẶT CẮT TỐI THIỂU – LUỒNG CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI: 36
2.3.1. Nguyên lý: 36
2.3.2. Nhận xét: 42
2.4. XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ CỦA TCSC: 42
2.5. DUNG LƯỢNG BÙ TCSC: 44
2.6. LƯU ĐỒ XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG TCSC: 45
2.7. LIÊN KẾT GIỮA MATLAB VÀ EXCEL: 48
CHƯƠNG 3: CÁC VÍ DỤ MÔ PHỎNG CỤ THỂ 52
3.1 . SƠ ĐỒ LƯỚI ĐIỆN 7 BUS: 52
3.2 . SƠ ĐỒ LƯỚI ĐIỆN 14 BUS: 60
CHƯƠNG 4: KẾT LUẬN 70
4.1 . KẾT LUẬN: 70
4.2 . HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI: 71

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

OPF: Optimal Power Flow

FACTS: Flexible Alternating Current Transmission System

TCSC: Thyristor Controlled Series Capacitor

TCPST: Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

TCVR: ThyristorControlled Voltage Regulator

TCR: Thyristor Controlled Reactor

SVC: Static Var Compensator

STATCOM: Static Synchronous Compensator

UPFC: Unified Power Flow Controlled

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 : Chi phí đầu tư trên 1KVAr của các thiết bị FACTS. 20
Bảng 1.2: Vị trí và thông lượng của các lát cắt. 26
Bảng 1.3**:** Các trường hợp xảy ra vị trí lát cắt. 27
Bảng 3.1: Thông số các máy và tải phát được cho như sau: 53
Bảng 3.2: Thông số các đường dây được cho như sau: 53
Bảng 3.3: Thông số công suất phát và tiêu thụ của lưới điện 14 nút. 61
Bảng 3.4: Thông số trên các đường dây truyền tải lưới điện 14 thanh cái. 62

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH

Hình 1.1: Ví dụ 2 nút bị nghẽn mạch. 7
Hình 1.2: Ví dụ 2 nút sau khi được loại bỏ nghẽn mạch. 7
Hình 1.3: Nguyên tắc điều khiển SVC trong ổn định hệ thống điện. 10
Hình 1.4: Dao động công suất trong trường hợp không có SVC và có SVC. 10
Hình 1.5: Cấu hình cơ bản nhất của SVC. 11
Hình 1.6: Cấu hình nâng cao của SVC là TCR + TSC + FC. 11
Hình 1.7: Sơ đồ mạch điều khiển sử dụng STATCOM. 12
Hình 1.8: Nguyên tắc điều khiển trào lưu công suất của STATCOM. 12
Hình 1.9: Sơ đồ kết nối SSSC với hệ thống điện 13
Hình 1.10: Sơ đồ nguyên lý điều khiển của UPFC. 13
Hình 1.11: Sơ đồ cấu tạo của TCSC. 15
Hình 1.12: Mô hình đường dây truyền tải có lắp đặt TCSC. 17
Hình 1.13: Đơn giản hoá mô hình TCSC trên nhánh i-j. 17
Hình 1.14: Chi phí đầu tư vận hành theo công suất bù. 20
Hình 1.15: Mối quan hệ giữa nguồn và tải. 22
Hình 1.16: Sơ đồ mạng với nguồn phát (s), tải thu (t) và hai nút trung gian. 23
Hình 1.17: Mô hình hoá mạng với một số lát cắt tiêu biểu. 24
Hình 1.18: Mô hình hệ thống điện đơn giản. 25
Hình 1.19: Mô hình hoá sơ đồ mạng điện truyền tải 2 nút. 26
Hình 1.20: Vị trí và thông lượng các lát cắt trên sơ đồ mô hình hóa. 26
Hình 1.21: Vị trí của lát cắt cực tiểu trên mạng mô hình hoá. 27
Hinh 2.1: Mô hình truyền tải điện trên 2 nhánh song song. 30
Hinh 2.2: Mô phỏng phân bố công suất trên lưới điện bằng Powerworld. 32
Hinh 2 3: Mô phỏng phân bố lại công suất trên lưới khi có thiết bị bù. 33
Hinh 2 4: Lưu đồ giải thuật xác đinh luồng cồn suất cực đại. 38
Hinh 2 5: Đồ thị vô hướng 8 nút. 39
Hình 3.1: Sơ đồ lưới điện 7 thanh cái. 53
Hình 3.2: Nhập matran cho chương trình từ excel 54
Hình 3.3: Kết quả chạy chương trình Mincut_Maxflow. 55

Hình 3.4: Kết quả mô phỏng 100% tải. 55
Hình 3.5: Kết quả mô phỏng sau khi tăng tải. 56
Hình 3.6: Kết quả mô phỏng điều độ máy phát chấp nhận quá tải đường dây. 57
Hình 3.7: Kết quả mô phỏng điều độ máy phát không chấp nhận quá tải đường dây. ..57
Hình 3.8: Kết quả mô phỏng sau khi đặt TCSC trong trường hợp bị quá tải. 58
Hình 3.9: Kết quả mô phỏng sau khi đặt TCSC trong trường hợp 100% tải. 59
Hình 3.10: Đồ thị thể hiện thời gian thu hoàn vốn lắp đặt TCSC 60
Hình 3.11: Sơ đồ lưới 14 bus. 61
Hình 3.13: Kết quả chạy được từ chương trình Mincut_Maxflow. 64
Hình 3.14: Kết quả mô phỏng 100% tải. 65
Hình 3.15: Kết quả mô phỏng khi quá tải. 65
Hình 3.16: Kết quả mô phỏng khi tăng tải 10%. 66
Hình 3.17: Kết quả mô phỏng khi điều độ máy phát sao cho đường dây không bị quá tải. 66
Hình 3.18: Kết quả mô phỏng khi điều độ máy phát sao cho chi phí bé nhất. 67
Hình 3.19: Kết quả mô phỏng sau khi lắp đặt TCSC. 68
Hình 3.20: Đồ thị thể hiện thời gian thu hoàn vốn lắp đặt TCSC. 68

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN

1.1. ĐẶT VẤN ĐỀ:

Ngày nay, khi mà các nguồn tài nguyên thiên nhiên sẵn có không đủ đáp ứng nhu cầu về năng lượng ngày càng tăng của con người; bên cạnh việc tìm kiếm những nguồn tài nguyên và nhiên liệu mới thay thế thì việc quy hoạch, sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên sẵn có cũng là vấn đề quan tâm hàng đầu của ngành công nghiệp điện năng. Một trong những khía cạnh đó là việc ứng dụng khoa học kỹ thuật vào quản lý và vận hành lưới điện sao cho tổng chi phí sản xuất vận hành lưới điện là nhỏ nhất để giá thành tới người sử dụng là thấp nhất. Điều này là hợp lý khi hình thành một thị trường mới mẻ - thị trường điện.

Có rất nhiều công trình nghiên cứu về vận hành tối ưu hệ thống điện. Một trong các bài toán đặt ra là phân bố luồng công suất tối ưu còn được biết đến như phương pháp điều khiển dòng công suất trên lưới điện truyền tải nhằm: Hạn chế quá tải trên đườngdây ở thời điểm hiện tại cũng như khi mở rộng phụ tải trong tương lai. Đây là nguyên nhân chính gây nên giá sản xuất điện năng tăng cao. Có nhiều phương pháp để giải quyết bài toán quá tải như: Điều chỉnh công suất phát của nhà máy, xây dựng các đường dây song song sử sửdụng các thiết bị bù công suất phản kháng tại chỗ… nhưng các giải pháp này không đảm bảo được chi phí là thấp nhất nên không thoả điều kiện giảm giá thành sản xuất điện năng.

Việc sử dụng các thiết bị FACTS điều khiển dòng công suất trên đường dây còn được biết đến như biện pháp chống nghẽn mạch, giảm rủi ro về mất điện, tăng độ tin cậy cung cấp điện cho khách hàng, đảm bảo lợi ích kinh tế, đồng thời tránh được tình trạng đầu cơ tăng giá điện khi có sự cố nghẽn mạch. Một số công trình nghiên cứu cũng cho thấy rằng, việc sử dụng các thiết bị FACTS để điều khiển dòng công suất sẽ

hạn chế được quá tải trên đường dây từ đó làm giảm chi phí sản xuất điện năng, tăng giá trị phúc lợi xã hội. Vấn đề là chọn thiết bị FACTS nào là thoả mãn chi phí nhỏ nhất. Qua thực nghiệm cho thấy khả năng điều khiển điện áp, điều khiển trào lưu công suất và cải thiện ổn định điện áp tại các nút của TCSC là tốt hơn so với dùng tụ bù dọc SVC; chi phí đầu tư trên một đơn vị công suất bù của TSCS cũng nhỏ hơn so với các loại thiết bị khác.

Tuy nhiên chi phí cho một thiết bị bù TCSC không nhỏ, do đó không thể lắp đặt trên toàn bộ hệ thống truyền tải điện. Với mục tiêu tổng chi phí vận hành và điều khiển hệ thống điện bao gồm: chi phí phát điện, chi phí truyền tải phân phối, chi phí cho thiết bị bù TCSC phải nhỏ nhất. Do đó cần xác định vị trí lắp đặt thiết bị bù TCSC trên mạng phân phối truyền tải điện để đồng thời giải quyết được cả hai vấn đề; kinh tế và kỹ thuật. Trên cơ sở những kết quả của các công trình nghiên cứu trước đây đã đạt được, đề tài "**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MẶT CẮT TỐI THIỂU CHỐNG QUÁ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN**" với mục đích xây dựng giải thuật tìm kiếm vị trí tối ưu của TCSC giải quyết những hạn chế của các công trình nghiên cứu trước đây.

1.1.1. Mục tiêu và giới hạn của đề tài:

- Mục tiêu của đề tài:

- Tìm hiểu về thuật toán tìm luồng công suất cực đại.
- Nguyên lý cấu tạo, hoạt động và mô hình toán của TCSC.
- Vị trí tối ưu của TCSC trên lưới điện truyền tải.
- Ứng dụng thực tế và so sánh với một số công trình nghiên cứu về OPF.

- Giới hạn đề tài:

- Nghiên cứu về thuật toán luồng công suất cực đại.
- Sử dụng TCSC để điều khiển phân bố dòng công suất trên lưới điện.
- Xác định vị trí tối ưu của TCSC trên lưới điện truyền tải.
- Ứng dụng thuật toán cho bài toán cụ thể.

- Điểm mới của đồ án:

- Xây dựng thuật toán tìm luồng phân bố công suất cực đại
- Xây dựng giải thuật trên chương trình matlab nên tổng quát hơn các nghiên cứu trước.

1.1.2. Giá trị thực tiễn của đề tài:

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thiết bị FACTS (Flexible AC Transmission Systems) trên lưới điện truyền tải, khả năng điều khiển dòng công suất trên lưới điện và những tiện ích của việc xác định vị trí các thiết bị FACTS trên đường dây so với việc đặt các thiết bị điều khiển tại các nút như thế nào. Chính vì vậy mà đề tài "**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MẶT CẮT TỐI THIỂU TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN**" sẽ cho cái nhìn tổng quan về vấn đề phân bố tối ưu luồng công suất.

Với kết quả thu được từ việc nghiên cứu đề tài có thể:

- Ứng dụng cho các mô hình hay lưới điện bất kỳ.
- Sử dụng làm tài liệu tham khảo khi vận hành lưới điện với thiết bị FACTS.
- Sử dụng làm tài liệu tham khảo cho bài giảng môn học cung cấp điện.

1.2. NÂNG CAO KHẢ NĂNG TRUYỀN TẢI CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN:

Trong quá trình vận hành hệ thống điện trong thị trường điện, chi phí của tổ máy phát thứ i trong nhà máy điện là:

$$C_i(P_{gi}) = \alpha_{0i}P_{gi}^2 + \alpha_{1i}P_{gi} + \alpha_{2i} \quad (1.1)$$

P_{gi}: công suất phát của tổ máy thứ i.

α_{0i}, α_{1i}, α_{2i}: Hệ số chi phí của máy phát i.

Do đó tổng chi phí của các nhà máy phát điện được tính theo biểu thức:

$$C_G = \sum C_i(P_{gi}) \quad (1.2)$$

Mục tiêu của các nhà máy sản xuất điện năng là tìm cách giảm chi phí sản xuất điện sao cho tổng chi phí phát điện phải là nhỏ nhất:

$$C_1 = Minimum \sum C_i(P_{gi}) \quad (1.3)$$

Giá thành điện năng là tổng chi phí để sản xuất ra một đơn vị điện năng. Giá điện bao gồm các chi phí nguồn phát, truyền tải đến nơi tiêu thụ cộng với các chi phí khác hình thành nên giá bán điện trên thị trường. Do đó giá bán điện được xác định tính từ giá thành sản xuất điện năng tối thiểu C1. Trong thị trường điện, sự cạnh tranh về giá luôn khiến các nhà sản xuất phải hướng đến mục tiêu tối thiểu hoá tổng chi phí của hệ thống điện, nghĩa là tìm cách đưa tổng chi phí phát điện về giá trị C1. Điều này đồng nghĩa với việc giảm giá thành sản xuất trên một đơn vị điện năng và giá bán điện cũng giảm theo.

Giả sử giá trị chi phí phát điện tối thiểu là C1 thì lượng công suất phát của các nhà máy điện và phụ tải có sự cân bằng theo biểu thức:

$$\sum_{i=1}^{n} P_{Gi} = \sum P_L \quad (1.4)$$

P_{Gi}: công suất phát của các nhà máy.

P_L: công suất của các phụ tải.

Khi có sự gia tăng phụ tải vượt quá độ dự trữ cho phép của hệ thống dẫn đến đường dây nghẽn mạch trên một số tuyến đường dây của mạng điện. Nghĩa là khi phụ tải điện thay đổi tăng lên một lượng ΔP_L thì theo biểu thức (2.4), để giải quyết sự cố nghẽn mạch trên hệ thống truyền tải điện cần thay đổi công suất phát của các tổ máy trong các nhà máy điện một lượng là ΔP_{gi}. Như vậy chi phí cho sản xuất ra một đơn vị điện năng trong trường hợp này theo biểu thức (2.3) sẽ là $C_2 = \sum C_i(P_{gi}^{'}) > C_1$. Khi chi phí sản xuất điện năng tăng cao thì giá bán điện đến hộ tiêu thụ cũng tăng theo. Điều này gây bất lợi cho nhà cung cấp trong việc gia tăng doanh số bán hàng trên thị trường cũng như những nỗ lực cạnh tranh thị phần.

Bài toán phân bố công suất tác dụng giữa các nhà máy điện để cực tiểu chi phí sản xuất (C_1). Tuy nhiên bài toán này gặp khó khăn vì gặp giới hạn của các đường dây tải

điện nên phải thay đổi công suất phát giữa các nhà máy điện để các đường dây không còn quá tải. Điều này làm cho chi phí tăng cao (C_2) làm cho $C_2 > C_1$.

Để giảm chi phí phát điện từ $C_2 \rightarrow C_1$ có thể nâng cao khả năng tải của hệ thống. Nếu không phải tất cả các đường dây truyền tải (tạo thành mạch các vòng) bị quá tải hoàn toàn bằng cách thay đổi góc pha giữa nút, các tổng trở các nhánh để công suất truyền tải phân chia qua các tuyến dây chưa bị quá tải.

Ngành công nghệ điện tử với công suất hiện nay, việc sản suất các thiết bị FACTS có thể thực hiện được. Tuy nhiên, việc xác định chính xác vị trí đặt thiết bị hết sức khó khăn vì phải xác định được những nhánh thường xuyên bị quá tải mới đem lại hiệu quả của việc đặt thiết bị FACTS.

Số lượng thiết bị và công suất thiết bị đòi hỏi phải giải bài toán cực đại lợi nhuận giữa chi phí thiết bị và việc giảm chi phí sản suất điện năng.

Những phân tích trên cho thấy: khi có sự thay đổi phụ tải hay sự cố hệ thống điện sẽ dẫn tới giá bán điện trên thị trường tăng lên do chi phí sản xuất điện tăng. Cho dù vận hành lưới điện ở bất kỳ trạng thái nào thì các nhà máy sản xuất điện luôn tìm cách đưa các chi phí C_2 trở về gần với trạng thái ban đầu nhất: $C_2 \rightarrow C_1$.

1.3. CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU TRƯỚC ĐÂY:

1.3.1. Điều độ kế hoạch nguồn phát điện:

Phân bố công suất tối ưu (OPF) là kỹ thuật quan trọng nhất để đạt được các mô hình phát điện chi phí nhỏ nhất trong một hệ thống điện với các điều kiện ràng buộc truyền tải và vận hành có sẵn. Vai trò của trung tâm vận hành hệ thống độc lập (ISO) trong thị trường cạnh tranh là điều độ điện năng đáp ứng hợp đồng giữa các bên tham gia thị trường. Với xu hướng phát triển của nền kinh tế và đất nước, các phụ tải ngày càng tăng số lượng các hợp đồng song phương được ký kết cho các giao dịch thị trường điện thì khả năng thiếu các nguồn cung cấp sẽ dẫn tới nghẽn mạch mạng là không thể tránh khỏi. Trong trường hợp này, quản lý nghẽn mạch (với cơ chế OPF) trở thành một bài toán quan trọng. Nghẽn mạch truyền tải theo thời gian thực được định

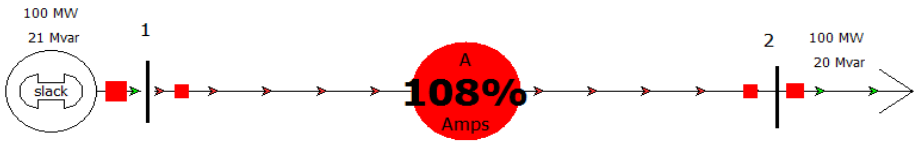
nghĩa là điều kiện vận hành mà ở đó không đủ khả năng truyền tải để thực hiện cùng lúc tất cả các giao dịch do xảy ra tình trạng khẩn cấp không mong muốn. Để giảm nghẽn mạch truyền tải bằng cách đưa các ràng buộc khả năng truyền tải vào trong quá trình điều độ và lập kế hoạch. Điều này bao gồm tái điều phối nguồn phát hoặc cắt giảm tải. Trong tài liệu này, tác giả đã thành lập bài toán OPF với mục tiêu là cực tiểu lượng công suất tác dụng (MW) khi điều chỉnh lại kế hoạch. Theo cơ chế này, chúng ta cũng xem xét sự điều phối các hợp đồng song phương trong trường hợp nghẽn mạch nặng nề mặc dù biết rằng bất cứ sự thay đổi nào trong một hợp đồng song phương là tương ứng với sự thay đổi công suất bơm vào ở cả các nút người mua lẫn người bán.

Điều này dẫn tới vận hành nguồn phát ở một điểm cân bằng khác điểm cân bằng được xác định bởi điều kiện giá cận biên bằng nhau. Các mô hình toán học giá truyền tải có thể được kết hợp trong cơ chế điều phối và đạt được tín hiệu giá tương ứng. Các tín hiệu giá này có thể được sử dụng để định giá nghẽn mạch và chỉ cho những người tham gia thị trường sắp xếp lại công suất bơm vào hay lấy ra để tránh nghẽn mạch.

Ngoài ra, phương pháp điều độ kế hoạch nguồn phát của tác giả chỉ xem xét điều kiện ràng buộc dòng công suất tác dụng trên đường dây truyền tải mà chưa xem xét các điều kiện ràng buộc khác như: điều kiện ràng buộc về điện áp nút, góc lệch pha, xác định giá điện tại các nút. Đây là những điều kiện rất quan trọng cần phải đưa vào khi điều độ kế hoạch nguồn phát, giúp quá trình vận hành hệ thống ổn định và kinh tế.

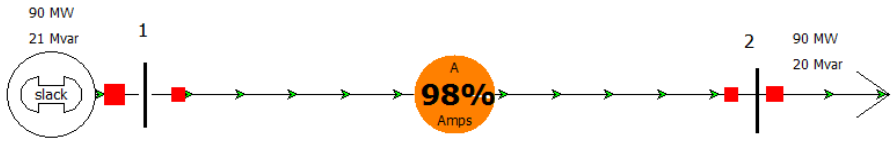
1.3.2. Điều độ tải:

Trong các hệ thống phi điều tiết, nghẽn mạch trong hệ thống truyền tải là một bài toán chủ yếu và có thể dẫn tới các đột biến giá. Nghẽn mạch truyền tải xuất hiện khi thiếu khả năng truyền tải để đáp ứng các yêu cầu của tất cả các khách hàng. Trong các trạng thái bị nghẽn mạch nặng nề, nghẽn mạch truyền tải có thể được giảm bớt bằng cách cắt giảm một phần các giao dịch không ổn định.



Hình 1.1: Ví dụ 2 nút bị nghẽn mạch.

Một ví dụ của một hệ thống 2 nút trình bày trong Hình 1.1 giải thích sự nghẽn mạch truyền tải. Trong Hình 1.1, đầu ra công suất tác dụng cực đại của máy phát là 100MW với giới hạn công suất đường dây truyền tải là 100MVA và công suất tác dụng tải là 100MW. Có một sự quá tải truyền tải trên đường dây truyền tải để đáp ứng tải. Nghẽn mạch có thể được giảm bớt bằng cách cắt giảm phần tải nào đó. Trong Hình 1.2, tải được cắt giảm từ 100MW xuống 90MW và nghẽn mạch được loại bỏ.



Hình 1.2: Ví dụ 2 nút sau khi được loại bỏ nghẽn mạch.

Điều độ tải là phương pháp điều khiển nghẽn mạch hiệu quả. Tuy nhiên phương pháp này phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: khả năng chuyển tải, tăng và giảm tải của các phụ tải, mức độ sự cố, khả năng mang tải của hệ thống điện. Biện pháp cắt tải sẽ làm giảm độ tin cậy cung cấp điện và hạn chế khả năng phát triển tải trong tương lai. Biện pháp này chỉ nên sử dụng khi sự cố trong hệ thống là bất khả kháng, quá nghiêm trọng cần phải điều khiển nhanh để đảm bảo an ninh hệ thống điện.

1.3.3. Mở rộng đường dây truyền tải:

Mở rộng đường dây truyền tải giải quyết bài toán mở rộng và củng cố sự phát điện và mạng truyền tải hiện tại để phục vụ tối ưu sự phát triển thị trường điện trong khi đáp ứng một tập các điều kiện ràng buộc về kinh tế và kỹ thuật. Các kỹ thuật khác

nhau như phân tích Bender, tìm kiếm Tabu, thuật toán Gen đã được sử dụng để nghiên cứu bài toán này.

Mặc dù các chi phí nghẽn mạch có thể được cực tiểu hóa nhờ vào các phương pháp quản lý nghẽn mạch hiệu quả, nhưng một mối quan tâm bao quát là chi phí biên của nghẽn mạch này sẽ không cao hơn chi phí biên của giảm nghẽn mạch thông qua sự đầu tư về mở rộng khả năng truyền tải. Mặt khác, các chi phí nghẽn mạch cao sẽ là một tín hiệu để mở rộng khả năng truyền tải. Sự đầu tư về truyền tải sẽ luôn luôn hướng tới tăng độ tin cậy và giảm các chi phí nghẽn mạch.

Tuy nhiên, phương pháp mở rộng đường dây truyền tải này có rất nhiều hạn chế như: Tốn nhiều thời gian, chi phí mở rộng đường dây truyền tải lớn, phụ thuộc vào các ràng buộc pháp lý, các quy định đền bù giải tỏa…

Ngoài ra những công trình nghiên cứu trước đây về ứng dụng của FACTS trong vận hành và điều khiển hệ thống điện nhằm đạt được những mục tiêu đề ra đa số tập trung vào các thiết bị như: TCSC, TCVR, TCPST, SVC và UPFC. Tuy có những xuất phát điểm và cách tiếp cận khác nhau trong việc ứng dụng tính hiệu quả của thiết bị FACTS vào điều khiển hệ thống điện. Nhưng nhìn chung, các công trình nghiên cứu đều có chung hướng nghiên cứu và phương pháp như sau:

Sử dụng giải thuật Gen để tìm kiếm giải pháp tối ưu. Nghĩa là: với sự hỗ trợ của phần mềm máy tính, thông số của thiết bị FACTS sẽ được mã hoá cùng các thông số của mạng điện. Các toán tử đột biến, lai chéo được sử dụng để giải bài toán phân bố công suất đưa kết quả vào không gian tìm kiếm. Thông số ban đầu sẽ được tự động lưu trữ và cập nhật để gia tăng tính đa dạng của phạm vi tìm kiếm giải pháp đúng như tên của giải thuật.

Một phương pháp truyền thống nữa hay được sử dụng là liệt kê thử nghiệm: một bảng danh sách các đường dây trong mạng được liệt kê. Thông thường với phương pháp này chọn lựa $X_{TCSC}=75\%X_{line}$ cố định. Giá trị bù này lần lượt được thử trên tất cả các nhánh của mạng điện để tìm vị trí nào tối ưu nhất theo hàm mục tiêu ban đầu đề ra.

Có nhiều công trình nghiên cứu đặt mục tiêu vị trí tối ưu của TCSC là gia tăng tổng khả năng truyền tải của hệ thống (maximal total transfer capability), hoặc vị trí tối ưu của TCSC là vị trí có thể gia tăng tối đa phúc lợi xã hội mà nó mang lại.

Công trình nghiên cứu của M.A.Khaburi và M.R.Haghifam [17] sử dụng phương pháp phân vùng để giới hạn phạm vi tìm kiếm giải pháp. Nghĩa là chia mạng điện thành hai vùng theo chủ quan. Vùng có nhiều máy phát tập trung gọi là vùng nguồn (Source area) và vùng có nhiều phụ tải tập trung hơn gọi là vùng tải (Sink area). Hai vùng này được nối với nhau bằng các đường dây liên lạc. Thiết bị bù chỉ lắp đặt trên các nhánh liên lạc này để kiểm tra tìm kiếm giải pháp tối ưu theo mục tiêu đề ra. Phương pháp này có ưu điểm là giới hạn được không gian phạm vi tìm kiếm giải pháp nhưng kết quả tuỳ thuộc vào sự phân vùng ban đầu của người vận hành. Nói chung nó chỉ chính xác hơn trong trường hợp có sự quy hoạch mua và bán điện giữa hai vùng được cung cấp từ hai nguồn khác nhau hoàn toàn. Lúc đó chỉ quan tâm đến những đường dây liên lạc trao đổi điện năng giữa hai vùng này.

Theo tác giả Nguyễn Hoàng Sơn [1] trong công trình nghiên cứu ứng dụng của UPFC điều khiển hệ thống điện cũng có hướng giải quyết tương tự: giải bài toán phân bố công suất bằng Powerworld, đưa ra các tình huống sự cố giả định để tìm nhánh nghẽn mạch. Sau đó lần lượt thử đặt thiết bị UPFC vào từng nhánh của hệ thống cho phân bố lại công suất để tìm ra vị trí và dung lượng thích hợp cho thiết bị FACTS trong hệ thống điện. Phương pháp này còn được biết đến với tên gọi "**Phương pháp thử sai**" (Trial and error method) để tìm vị trí tối ưu của thiết bị FACTS trong mạng điện.

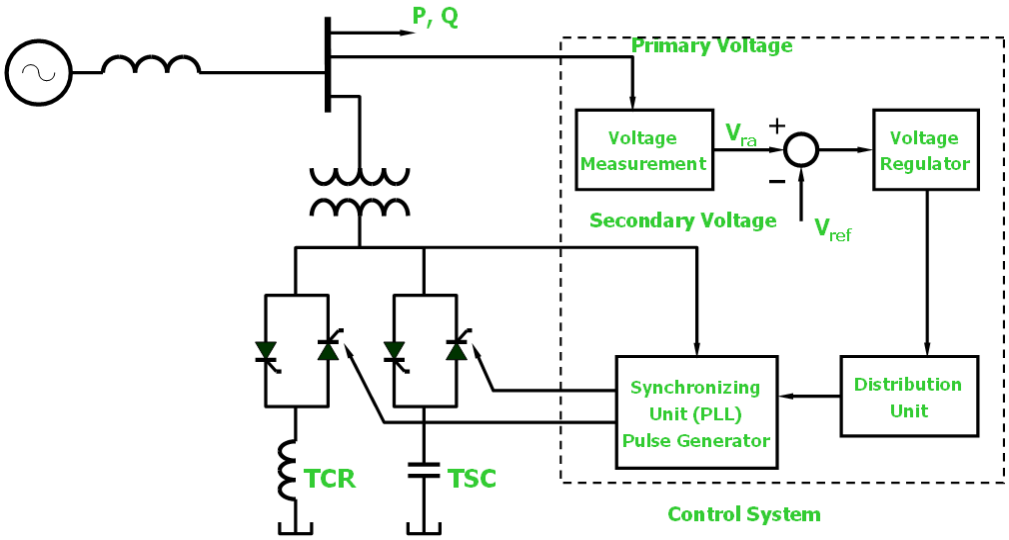
1.4. CÁC THIẾT BỊ FACTS:

1.4.1. Bộ bù công suất Var tĩnh SVC *(Static Var Compensator):*

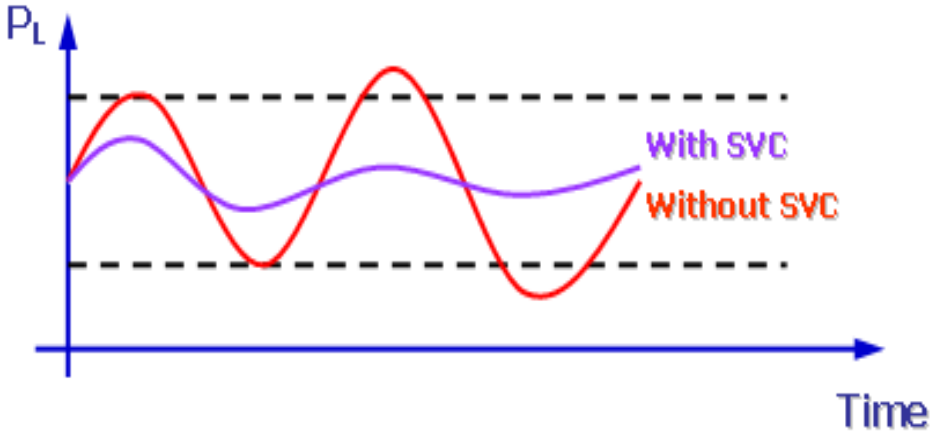
SVC gọi là máy bù tĩnh gồm bộ tụ điện và bộ kháng điện nối song song với nhau, một trong hai bộ này được điều trơn. Công suất phản kháng Q được điều khiển từ dung tính đến cảm tính thông qua việc điều khiển các van Thyristor. Bộ SVC mắc song

song với đường dây hay phụ tải cho phép điều chỉnh và giữ vững điện áp tại nút đó, hạn chế được dao động điện áp nâng cao khả năng ổn định hệ thống điện.

Bộ bù công suất phản kháng tĩnh SVC là một thiết bị điện tử công suất nâng cao dùng để cung cấp nhanh và liên tục phát công suất phản kháng tính dung và tính cảm đến hệ thống điện.



Hình 1.3: Nguyên tắc điều khiển SVC trong ổn định hệ thống điện.



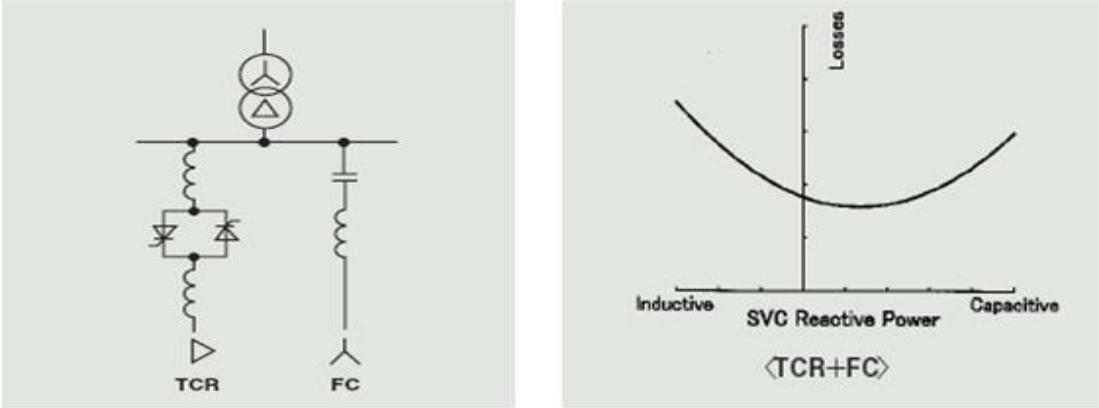
Hình 1.4: Dao động công suất trong trường hợp không có SVC và có SVC.

Phân loại theo cấu hình là phân loại SVC bao gồm một cuộn kháng được điều khiển bằng Thyristor TCR (Thyristor Controlled Reactor), một bộ tụ được đóng ngắt

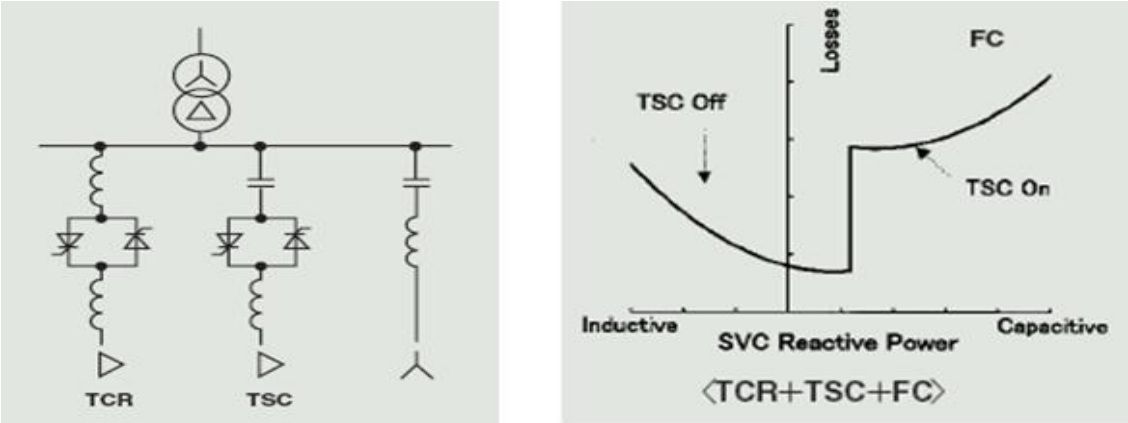
bằng Thyristor TSC (Thyristor Switched Capacitor) và dãy tụ cố định FC (Fixed Capacitor) lọc sóng hài được đấu nối như trong Hình 1.3.

TCR bao gồm cuộn kháng và van Thyristor. TCR điều khiển liên tục công suất phản kháng bằng cách thay đổi biên độ dòng điện chạy qua cuộn kháng.

TSC bao gồm tụ điện, cuộn kháng và van Thyristor. TSC đóng và ngắt tụ điện. Bộ lọc FC cung cấp công suất phản kháng cố định và hấp thụ dòng điện sóng hài được phát ra từ bộ TCR.



Hình 1.5: Cấu hình cơ bản nhất của SVC.

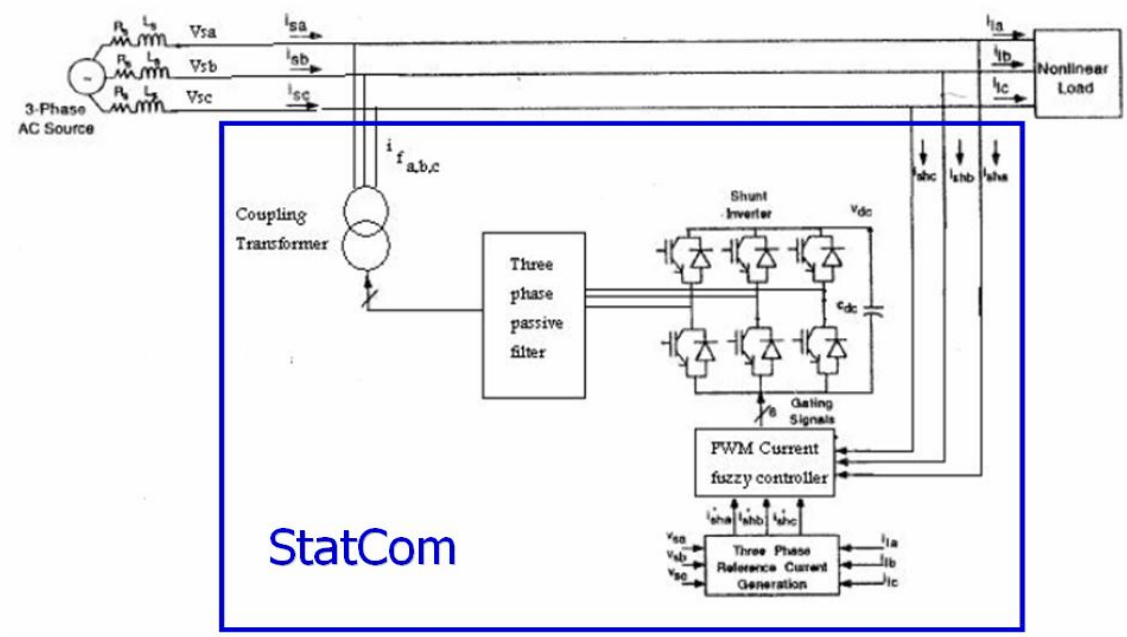


Hình 1.6: Cấu hình nâng cao của SVC là TCR + TSC + FC.

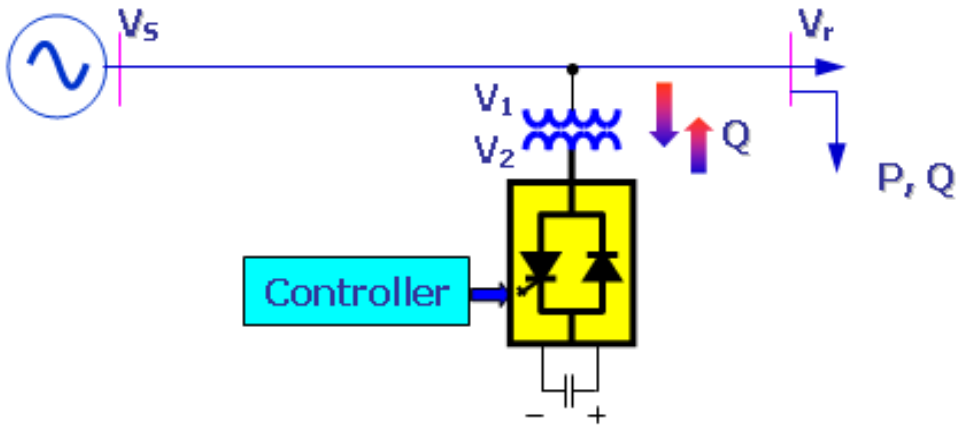
1.4.2. Bộ bù đồng bộ tĩnh STATCOM (Static Synchronous Compensator):

Chức năng của Bộ bù tĩnh (STATCOM) là giống như máy bù đồng bộ. Nói chung, nó cung cấp công suất phản kháng bù để giải quyết sự biến đổi điện áp của hệ

thống điện và điện công nghiệp trong các điều kiện dao động và ổn định. Một hệ thống STATCOM đầy đủ bao gồm một nguồn điện áp DC, bộ biến đổi tự chuyển sử dụng Thyristor, và một máy biến áp tăng áp.

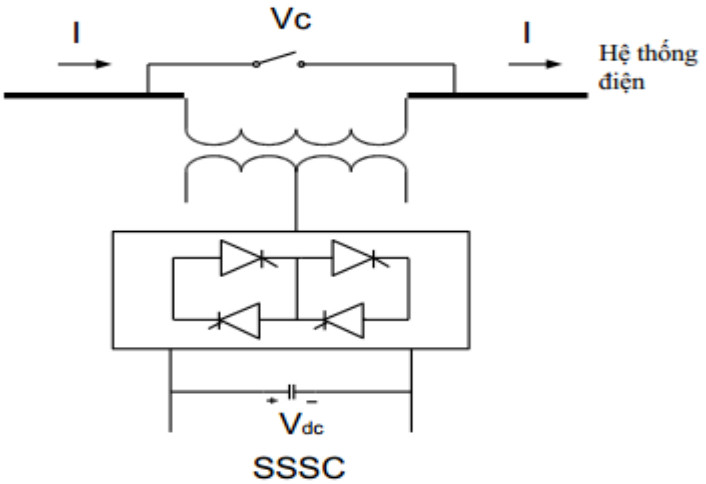


Hình 1.7: Sơ đồ mạch điều khiển sử dụng STATCOM.



Hình 1.8: Nguyên tắc điều khiển trào lưu công suất của STATCOM.

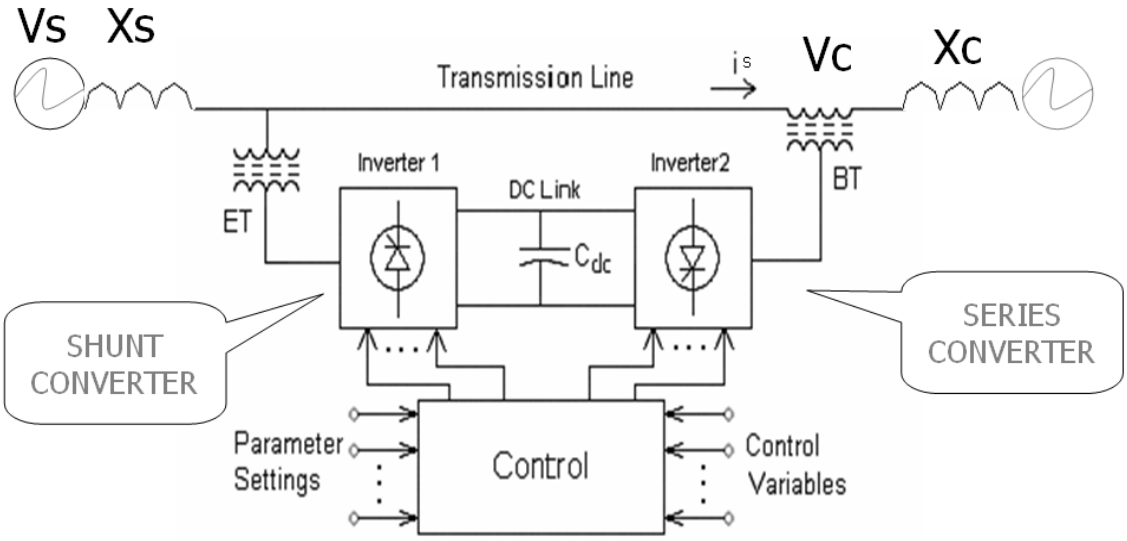
1.4.3. Bộ bù nối tiếp đồng bộ tĩnh – SSSC:



Hình 1.9: Sơ đồ kết nối SSSC với hệ thống điện

Bộ SSSC là thiết bị bù nối tiếp vào đường dây, nó có thể phát ra một lượng điện áp được yêu cầu của hệ thống điện, nó có thể biến đổi điện áp của hệ thống từ AC sang điện áp DC. Bộ SSSC có thể điều khiển cả công suất thực và công suất kháng với hệ thống AC.

1.4.4. Bộ điều khiển dòng công suất hợp nhất - UPFC (*Unified Power Flow Controlled*):



Hình 1.10: Sơ đồ nguyên lý điều khiển của UPFC.

UPFC (Unified Power Flow Controlled): là bộ tích hợp điều khiển luồn công suất, nó cho phép điều khiển được điện áp, tổng trở và góc pha. Việc lắp UPFC nhằm điều khiển linh hoạt hệ thống điện như sau:

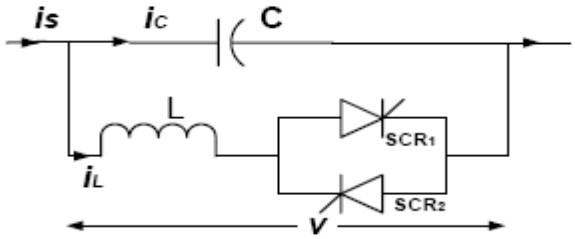
- Tăng khả năng truyền tải của đường dây.
- Giảm tổn thất: A, P, Q, U.
- Giảm sự dao động của hệ thống điện.
- Nâng cao và ổn định điện áp.
- Điều khiển dòng công suất phản kháng và tác dụng theo hai hướng.

1.4.5. Bộ bù dọc điều khiển bằng Thyristor TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor):

Các bộ bù nối tiếp được điều khiển bằng Thyristor (TCSC): là một phần tử cơ bản của hệ thống truyền tải điện xoay chiều linh hoạt (FACTS). Nó được mở rộng từ các tụ nối tiếp truyền thống thông qua việc bổ sung một bộ phản ứng được điều khiển bằng thyristor. Bộ phản ứng này mắc song song với một tụ nối tiếp cho phép tạo ra một hệ thống bù dọc điện kháng thay đổi liên tục và nhanh chóng. Những lợi điểm chủ yếu của TCSC là:

- Tăng công suất truyền tải.
- Giảm các dao động công suất.
- Giảm các cộng hưởng đồng bộ.
- Điều khiển dòng công suất đường dây.

TCSC bao gồm ba phần tử chính: Tụ bù C, cuộn kháng bù nối vào mạch thyristor và hai thyristor điều khiển SCR1 và SCR2 (Hình 1.10)



Hình 1.11: Sơ đồ cấu tạo của TCSC.

Các góc mở của thyristor được điều khiển để điều chỉnh điện kháng TCSC phù hợp với hệ thống. Khi các thyristor được kích thích, TCSC có thể được mô tả dưới dạng toán học như sau:

$$i_C = C\frac{dv}{dt} \tag{1.5}$$

$$v = L\frac{di_L}{dt} \tag{1.6}$$

$$i_S = i_C + i_L \tag{1.7}$$

i_L và i_C: là giá trị dòng điện tức thời qua tụ điện và cuộn cảm.

i_S: là dòng điện tức thời của đường dây truyền tải được điều khiển.

v: là điện áp tức thời qua TCSC.

Tổng trở tương đương của mạch LC:

$$Z_{td} = \frac{1}{j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)} \tag{1.8}$$

Như vậy TCSC có thể được điều khiển để làm việc ở trạng thái mang tính điện kháng ($\omega C > 1/\omega L$) có tính dung thay đổi hoặc ở trạng thái cảm kháng ($\omega C < 1/\omega L$) và tránh làm việc ở trạng thái cộng hưởng ($\omega C = 1/\omega L$).

Dòng điện đi qua cuộn cảm được xác định theo công thức:

$$i_L(t) = \frac{k^2}{k^2 - 1} I_m \left[\cos\omega t - \frac{\cos\beta}{\cos k\beta}\cos\omega_r t\right] \tag{1.9}$$

với $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $k = \frac{\omega_r}{\omega} = \sqrt{\frac{1}{\omega L}\cdot\frac{1}{\omega C}} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$

X_C là điện kháng định mức của tụ cố định C.

Điện áp tụ ở trạng thái vận hành bình thường tại thời điểm $\omega t = -\beta$ là:

$$v_{C1} = \frac{I_m X_C}{k^2 - 1}(\sin\beta - k\cos\beta\tan k\beta) \quad (1.10)$$

Tại ωt= β; $i_T = 0$, điện áp tụ được xác định:

$$v_C(\omega t = \beta) = v_{C2} = -v_{C1}$$

Điện áp tụ sau khi tính toán là:

$$v_C(t) = \frac{I_m X_C}{k^2 - 1}(-\sin\omega t + k\frac{\cos\beta}{\cos k\beta}\sin\omega_r t) \; ; \; -\beta \le \omega t \le \beta$$

$$v_C(t) = v_{C2} + I_m X_C(\sin\omega t - \sin\beta) \; ; \; \beta \le \omega t \le \pi - \beta$$

Điện kháng TCSC tương đương X_{TCSC} được tính theo tỉ số của V_{CF} và I_m:

$$X_{TCSC}(\alpha) = \frac{V_{CF}}{I_m} = X_C - \frac{X_C^2}{(X_C - X_L)} \cdot \frac{2\beta + \sin 2\beta}{\pi} + \frac{4X_C^2}{(X_C - X_L)} \cdot \frac{\cos^2\beta}{(k^2 - 1)} \cdot \frac{k\tan\beta - \tan\beta}{\pi} \quad (1.11)$$

Điện kháng của TCSC trên đơn vị X_C đượcbiểu thị bằng $X_{net} = X_{TCSC} / X_C$ là:

$$X_{net} = 1 - \frac{X_C}{(X_C - X_L)} \cdot \frac{\sigma + \sin\sigma}{\pi} + \frac{4X_C}{(X_C - X_L)} \cdot \frac{\cos^2(\sigma/2)}{(k^2 - 1)} \cdot \frac{\left[k\tan(k\sigma/2) - \tan(\sigma/2)\right]}{\pi} \quad (1.12)$$

Với σ = 2(π-α) là góc dẫn của bộ điều khiển TCSC.

1.5. ĐỀ XUẤT PHƯƠNG ÁN SỬ DỤNG TCSC:

1.5.1. Giải quyết để hết quá tải khi tăng tải:

Xét mô hình đường dây hình π với các thông số kết nối giữa hai nút i và j. Giá trị điện áp lần lượt tại hai nút i và j được cho bởi $V_i\angle\delta_i$ và $V_j\angle\delta_j$. Khi đó công suất thực và công suất phản kháng trên nhánh i-j được xác định bởi:

$$P_{ij} = V_i^2 g_{ij} - V_i V_j \left(g_{ij}\cos\delta_{ij} + b_{ij}\sin\delta_{ij}\right) \quad (1.13)$$

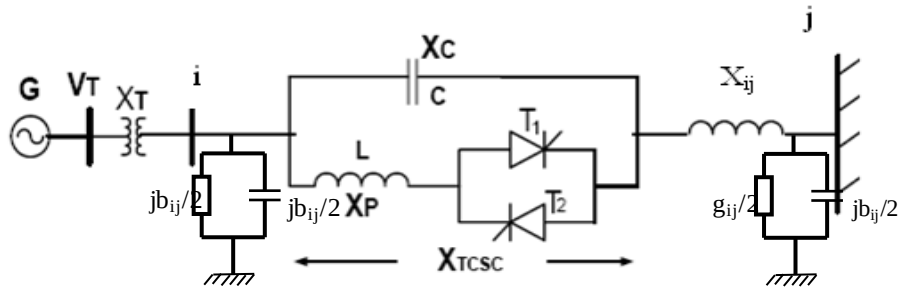
$$Q_{ij} = -V_i^2 b_{ij} - V_i V_j \left(g_{ij}\sin\delta_{ij} - b_{ij}\cos\delta_{ij}\right) \quad (1.14)$$

Trong đó: P_{ij} và Q_{ij} lần lượt là công suất thực và công suất phản kháng truyền từ nút i đến nút j. $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ và g_{ij}, b_{ij} là điện dẫn và dung dẫn trên nhánh đường dây i-j.

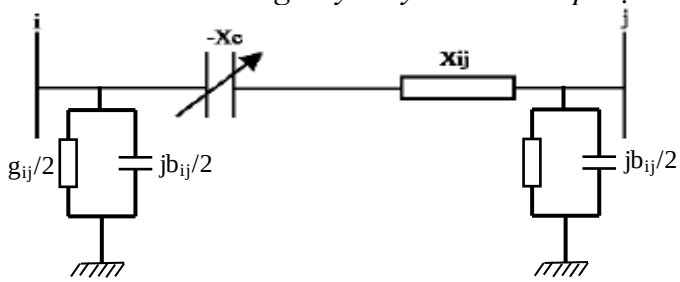
$$g_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} \quad (1.15)$$

$$b_{ij} = \frac{-x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} \tag{1.16}$$

Trong đó: r_{ij}, x_{ij} là điện trở và điện kháng trên nhánh đường dây i-j.



Hình 1.12: Mô hình đường dây truyền tải có lắp đặt TCSC.



Hình 1.13: Đơn giản hoá mô hình TCSC trên nhánh i-j.

Mô hình đường dây truyền tải có TCSC được lắp đặt giữa nút i và j như Hình 1.11. Ở trạng thái ổn định thì TCSC được xem như một điện kháng –jxc như mô Hình 1.12. Khi đó điện dẫn và dung dẫn trên nhánh đường dây i-j sẽ thay đổi theo biểu thức:

$$g_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + \left(x_{ij} - x_c\right)^2} \tag{1.17}$$

$$b_{ij} = \frac{-\left(x_{ij} - x_c\right)}{r_{ij}^2 + \left(x_{ij} - x_c\right)^2} \tag{1.18}$$

Do đó dòng công suất thực và công suất phản kháng trên nhánh i-j khi có TCSC sẽ là:

$$P_{ij}^c = V_i^2 g'_{ij} - V_i V_j \left(g'_{ij} \cos\delta_{ij} + b'_{ij} \sin\delta_{ij}\right) \tag{1.19}$$

$$P_{ji}^c = V_j^2 g'_{ij} - V_i V_j \left(g'_{ij} \cos\delta_{ij} - b'_{ij} \sin\delta_{ij}\right) \tag{1.20}$$

$$Q_{ij}^{c} = -V_i^2 b'_{ij} - V_i V_j \left(g'_{ij} \sin\delta_{ij} - b'_{ij} \cos\delta_{ij} \right) \quad (1.21)$$

$$Q_{ji}^{c} = -V_j^2 b'_{ij} + V_i V_j \left(g'_{ij} \sin\delta_{ij} + b'_{ij} \cos\delta_{ij} \right) \quad (1.22)$$

Dòng công suất trên nhánh i-j khi có TCSC sẽ là:

$$P_L = P_{ij}^{c} + P_{ji}^{c} = \left(V_i^2 + V_j^2 \right) g'_{ij} - 2V_i V_j g'_{ij} \cos\delta_{ij} \quad (1.23)$$

$$Q_L = Q_{ij}^{c} + Q_{ji}^{c} = -\left(V_i^2 + V_j^2 \right) b'_{ij} + 2V_i V_j b'_{ij} \cos\delta_{ij} \quad (1.24)$$

Như vậy khi lắp đặt TCSC trên nhánh i-j thì dòng công suất truyền trên nhánh tăng lên. Vì theo biểu thức 1.17 và 1.18, với các giá trị x_c thay đổi thì g'_{ij}, b'_{ij} cũng thay đổi và giá trị P_L, Q_L cũng có thể được điều khiển thông qua việc điều khiển giá trị x_c. Thông thường giá trị điện trở trên các đường dây truyền tải là rất nhỏ so với điện kháng (r << x) nên để đơn giản trong quá trình tính toán các biểu thức 1.17 và 1.18 có thể được viết lại:

$$g_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} = 0 \quad (1.25)$$

$$b_{ij} = \frac{-x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} = -\frac{1}{x_{ij}} \quad (1.26)$$

Do đó biểu thức 2.13 được viết lại như sau:

$$P_{ij} = -V_i V_j b_{ij} \sin\delta_{ij} \Rightarrow P_{ij} = \frac{V_i V_j}{x_{ij}} \sin\delta_{ij} \quad (1.27)$$

Và trong trường hợp có lắp đặt thiết bị bù TCSC trên nhánh i-j, dòng công suất truyền trên nhánh i-j được tính theo biểu thức:

$$P_{ij}^{c} = -V_i V_j b'_{ij} \sin\delta_{ij} \Rightarrow P_{ij}^{c} = \frac{V_i V_j}{x_{ij} - x_c} \sin\delta_{ij} \quad (1.28)$$

Biểu thức 1.28 cho thấy khả năng truyền tải trên nhánh i-j của hệ thống điện khi lắp đặt thiết bị bù dọc TCSC được cải thiện đáng kể phụ thuộc vào giá trị bù của thiết bị và có khả năng nâng cao công suất trên đường dây khi tăng tải.

1.5.2. Nhận xét:

Các công trình nghiên cứu trước đây tuy đạt được những kết quả và mục tiêu nhất định đã đề ra nhưng cách tiếp cận và giải quyết vấn đề còn chưa mang tính hiệu quả cao, chưa có khả năng khoanh vùng được phạm vi không gian để giảm bớt thời gian tìm kiếm giải pháp tối ưu. Việc ứng dụng giải thuật Gen tuy có tính kế thừa và phát huy nhưng lại có nhược điểm là gia tăng phạm vi tìm kiếm, tăng số lượng mẫu trong tổ hợp nên chiếm nhiều bộ nhớ dẫn đến gia tăng thời gian xử lý thông tin. Các phương pháp khác cũng chỉ mang tính thử nghiệm và tìm kiếm, chưa xây dựng được phương pháp tính một cách có hệ thống.

1.6. NHẬN XÉT VÀ ĐỀ XUẤT SỬ DỤNG MẶT CẮT TỐI THIỂU:

1.6.1. Nhận xét:

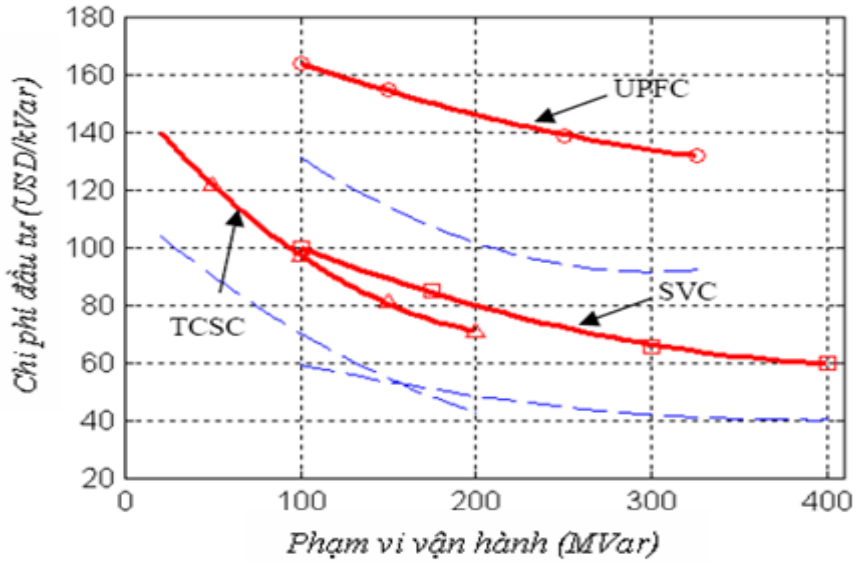
Để phân bố lại luồng công suất trong mạng điện nhằm tránh sự cố nghẽn mạch bằng cách sử dụng các thiết bị FACTS thay thế cho các giải pháp như thay đổi công suất phát của các tổ máy, xây dựng đường dây song song là rất hiệu quả. Tuy nhiên việc lắp đặt thiết bị FACTS ở đâu mới là vấn đề cần quan tâm. Do đó với những dao động phụ tải bất kỳ, sự thay đổi nguồn và gia tăng phụ tải thường xuyên trong tương lai dẫn tới điểm nghẽn mạch trong mạng cũng sẽ bị thay đổi nên không thể lắp đặt thiết bị bù trên tất cả các nhánh của lưới điện để đảm bảo chống nghẽn mạch khi có những thay đổi như trên. Vì vậy cần thiết phải xác định được tập hợp những nhánh có nhiều khả năng gây quá tải thường xuyên cho hệ thống. Đây là tập hợp những điểm xung yếu nhất còn được gọi là điểm nút thắt cổ chai (bottle-neck). Việc lắp đặt thiết bị FACTS tại những vòng có chứa tập hợp những nhánh xung yếu này sẽ khắc phục được quá tải đáng kể cho hệ thống.

Bảng 1.1 : Chi phí đầu tư trên 1KVAr của các thiết bị FACTS.

Các thiết bị bù	**Chi phí (USD/KVAr)**
Tụ bù song song	8
Tụ bù nối tiếp	20
TCSC	40
SVC	40
STATCOM	50
UPFC	50

Một vấn đề nữa là chi phí cho một thiết bị FACTS khá cao nên cũng cần phải xem xét đến vấn đề phân tích tài chính. Theo thống kê, chi phí đầu tư cho một đơn vị công suất bù của các thiết bị FACTS được cho trong bảng 1.1.

Ngoài ra, theo tài liệu tham khảo, cũng đã so sánh hàm chi phí đầu tư trên một đơn vị công suất bù giữa các thiết bị FACTS còn phụ thuộc vào vị trí và phạm vi mà thiết bị lắp đặt được thể hiện trong hình 1.14 như sau:



Hình 1.14: Chi phí đầu tư vận hành theo công suất bù.

Như vậy, xét về tính kinh tế thì giá thành đầu tư cho thiết bị bù TCSC chỉ cao hơn so với các loại tụ bù truyền thống, ít tốn kém hơn so với chi phí đầu tư lắp đặt các thiết bị khác như STATCOM hay UPFC. Giả sử nhu cầu bù vào hệ thống điện một lượng là 50MVAr nhưng nếu sử dụng thiết bị bù UPFC thì cần đầu tư một lượng là (tính bằng USD/kVAr)

$$C_{\text{UPFC}} = 0.0003S^2 - 0.2691S + 188.22$$

$$C_{\text{UPFC}} = 0.0003*50^2 - 0.2691*50 + 188.22 = 175.5$$

Trong khi đó nếu sử dụng thiết bị bù TCSC thì giá thành đầu tư là:

$$C_{TCSC} = 0.0015S^2 - 0.71S + 153.75$$

$$C_{TCSC} = 0.0015*50^2 - 0.71*50 + 153.75 = 122$$

Trong đó: S là phạm vi bù của thiết bị FACTS tính bằng MVAr

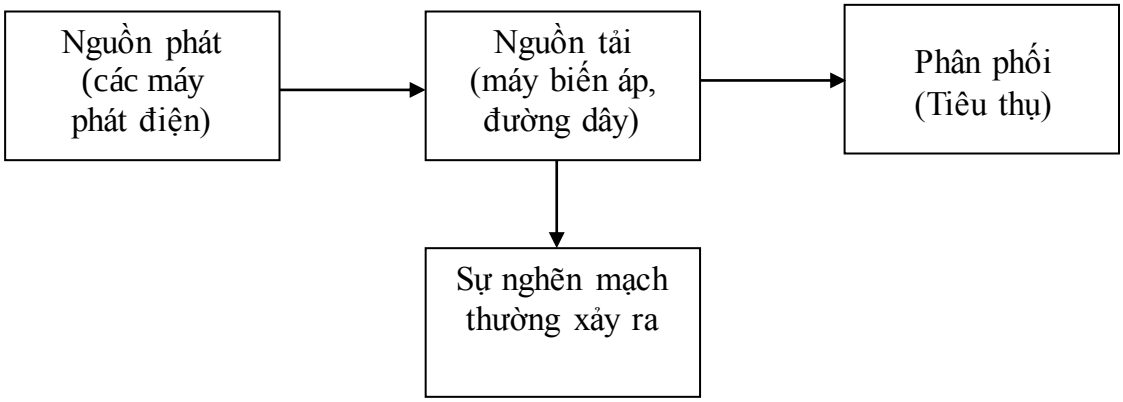
Mặt khác, khi đã xác định được vị trí và thiết bị bù cần thiết rồi thì vấn đề là: dung lượng bù bao nhiêu để đảm bảo phát huy hiệu quả tối đa trong việc chống nghẽn mạch hệ thống trong tất cả các trường hợp thay đổi phụ tải và nguồn. Việc cài đặt giá trị bù cũng phải đảm bảo vừa chống được sự cố trên nhánh có bù, đồng thời không làm quá tải các nhánh còn lại trong hệ thống. Do đó, việc xác định tập hợp nhánh nghẽn mạch, xác định vị trí và dung lượng bù của thiết bị TCSC trên hệ thống nhằm điều khiển tối ưu dòng công suất để giảm sản xuất điện năng dẫn đến cực tiểu chi phí. Đó chính là những vấn đề cần giải quyết trong nội dung nghiên cứu này.

1.6.2. Đề xuất sử dụng mặt cắt tối thiểu:

1.6.2.1. Giới thiệu:

Thông thường, nhà quản lý, nhà vận hành hay nhà quy hoạch đều xác định được hệ thống điện quá tải ở vị trí nào trong truyền tải từ nguồn phát đến nơi tiêu thụ. Đây

cũng là thông tin rất quan trọng trong việc truyền tải để đưa ra quyết định tiếp tục vận hành hay quy hoạch lại hệ thống điện.



Hình 1.15: Mối quan hệ giữa nguồn và tải.

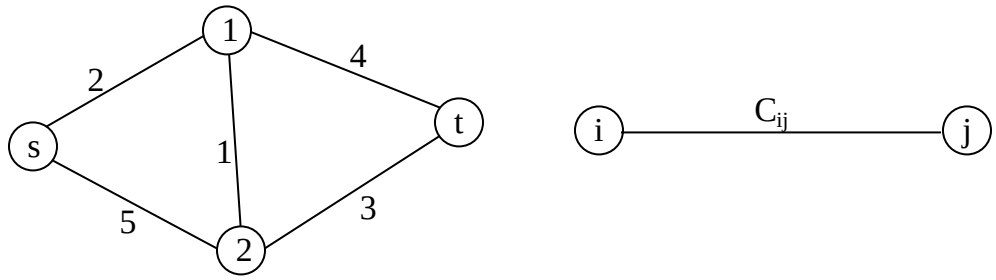
Hệ thống điện thông thường mở rộng ra theo thời gian như sự gia tăng thêm phụ tải và nâng cấp máy phát hay tăng thêm máy phát điện vào lưới điện. Do đó, việc truyền tải của đường dây thì không được nâng cấp phù hợp với nguồn và tải trong hệ thống điện cho nên quá tải ở trạng thái tĩnh và các vấn đề ổn định quá độ, như giới hạn ổn định không cao. Từ đó, các giới hạn trạng thái tĩnh và trạng thái động ta có như:

- Sự ổn định góc pha.
- Độ lớn điện áp.
- Các giới hạn nhiệt.
- Sự ổn định quá độ.
- Sự ổn định động.

Những giới hạn ổn định trên được định nghĩa là công suất điện lớn nhất để được truyền tải trên lưới điện mà không gây lan guy hiểm cho các đường dây truyền tải. Do đó, trong hệ thống điện có công suất giới hạn nên không thể có được dòng công suất vô hạn truyền từ nhà máy điện đến nơi tiêu thụ điện mà chỉ có giá trị cực đại nào đó. Để xác định dòng công suất cực đại này, công cụ sử dụng là lý thuyết về mặt cắt tối thiểu và dòng công suất cực đại (*Maxium flow – Minimum cut set*).

1.6.2.2. Lý thuyết về mặt cắt tối thiểu dòng công suất cực đại:

Thuật ngữ dòng công suất cực đại còn được biết đến với tên gọi "**lát cắt cực tiểu – dòng công suất cực đại**" (max flow-min cut). Với mỗi một mạng bất kỳ gồm có nút nguồn phát (s), nút tải thu (t), giữa nguồn và tải có các nút trung gian. Khả năng truyền trên các nhánh nối giữa nút i và nút j bất kỳ được gọi là dung lượng truyền tải của các cung C_{ij} hay còn gọi là trọng số. Khả năng truyền tải dòng công suất trong mạng tuỳ thuộc vào dung lượng truyền tải của các cung. Do khả năng truyền tải của các cung C_{ij} là khác nhau nên dung lượng truyền tải từ nguồn (s) tới tải (t) có giá trị lớn nhất bằng lượng cực đại có thể truyền tải trên các đường truyền từ s tới t.



Hình 1.16: Sơ đồ mạng với nguồn phát (s), tải thu (t) và hai nút trung gian.

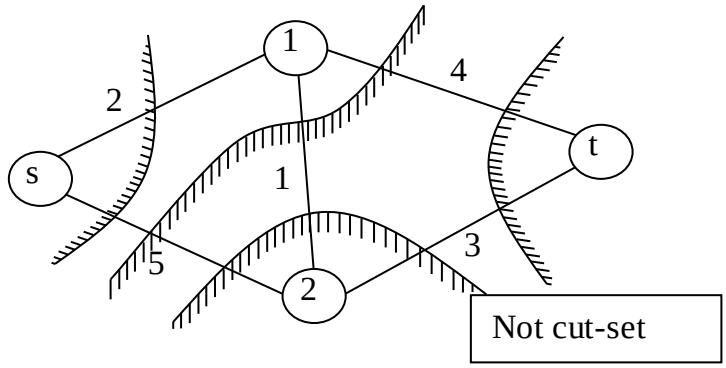
- **Min-cut:**

Xét sơ đồ mạng hình 1.16 với C_{ij} là khả năng có thể truyền tải từ nút i đến nút j.

Sử dụng các lát cắt sao cho mỗi lát cắt đều phải chia đôi nguồn (s) và tải (t) nằm ở hai nửa của mặt phẳng cắt. Khi đó khả năng truyền tải từ nguồn (s) tới tải (t) thông qua lát cắt sẽ bằng tổng khả năng truyền tải của các cung mà lát cắt đi qua.

Lát cắt không đảm bảo cách ly nguồn (s) và tải (t) không được gọi là lát cắt trong thuật toán mincut vì đối với lát cắt này, nguồn phát (s) vẫn có khả năng truyền tải tới (t) thông qua các cung còn lại. Sơ đồ hình 1.17 giới thiệu một số lát cắt theo lý thuyết và một lát cắt không phải.

Như vậy, lát cắt cực tiểu (min-cut) là lát cắt có tổng dung lượng đường truyền nhỏ nhất thuộc tập hợp nhóm lát cắt của giải thuật (cut-set).



Hình 1.17: Mô hình hoá mạng với một số lát cắt tiêu biểu.

- **Max-Flow:**

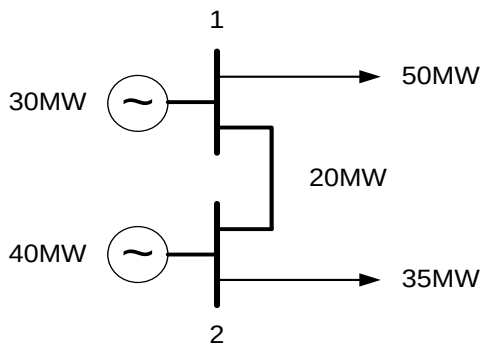
Dòng công suất cực đại (max-flow) được hiểu là dòng công suất có khả năng truyền từ nguồn (s) tới tải (t) thông qua tất cả các mặt cắt. Do đó, max-flow ≤ min-cut có thể hiểu theo nghĩa nút thắt cổ chai "bottle-neck" như sau: khả năng truyền từ nguồn (s) tới tải (t) có thể lớn hơn giá trị min-cut tại những vị trí lát cắt khác. Nhưng do hệ thống bị nghẽn mạch tại vị trí nút thắt cổ chai nên luồng công suất truyền từ (s) tới (t) tối đa chỉ được tính bằng luồng công suất chuyển qua mặt phẳng cắt có giá trị tối thiểu.

Nói cách khác, lượng cực đại của một luồng từ nguồn phát (s) tới đỉnh thu (t) bằng khả năng thông qua của một lát cắt tối thiểu.

1.7. ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN:

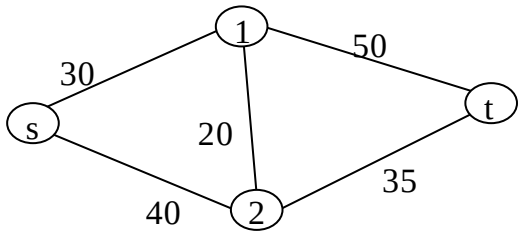
Trên cơ sở những phân tích về lát cắt cực tiểu và luồng công suất cực đại (1.6.2.2), ứng dụng để xây dựng thuật toán xác định dòng công suất truyền tải cực đại và nhánh nghẽn quá tải trên hệ thống mạng điện như sau:

Xét một mạng điện đơn giản như hình 1.18:



Hình 1.18: Mô hình hệ thống điện đơn giản.

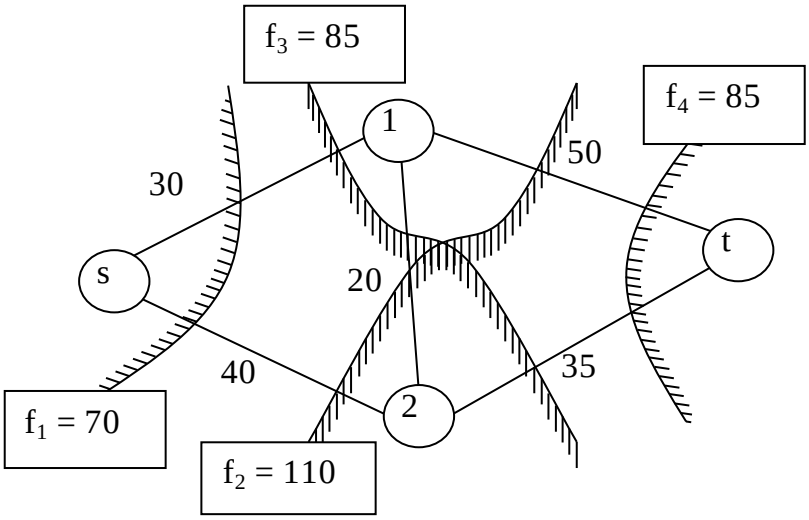
Từ sơ đồ mạng điện 2 nút có thể mô hình hóa thành sơ đồ dạng số để xác định nhánh nghẽn mạch. Hay nói cách khác là xác định tập hợp các nhánh có khả năng dẫn đến quá tải theo nguyên tắc sau: Tất cả dung lượng của các máy phát tại mọi thanh cái được quy về một nút gọi là nút nguồn phát s. Tất cả các phụ tải tiêu thụ được quy về một nút gọi là nút tải t. Nút nguồn sẽ cung cấp một lượng công suất 30MW cho tải thông qua nút trung gian là thanh cái 1 và 40MW cho tải thông qua nút trung gian là thanh cái 2. Khả năng truyền tải trên nhánh liên lạc giữa hai thanh cái 1 và 2 là 20MW. Phụ tải tiêu thụ một lượng công suất là 85MW được lấy từ hai nút trung gian 1 và 2 tương đương là 50MW và 35MW. Sơ đồ tương đương như sau:



Hình 1.19: Mô hình hoá sơ đồ mạng điện truyền tải 2 nút.

Như vậy, một mạng điện n nút khi mô hình hoá sang dạng sơ đồ mạng tương đương sẽ có tổng cộng là n+2 nút do có thêm hai nút giả định là nút nguồn (s) và nút tải (t). Từ đó có thể áp dụng phương pháp lát cắt cực tiểu - luồng công suất cực đại cho sơ đồ mạng điện.

Với sơ đồ tương đương nếu sử dụng các lát cắt f_1, f_2, f_3, f_4 để cách ly một nút nguồn s cùng các nút trung gian của hệ thống thì tổng dung lượng truyền qua các lát cắt là:



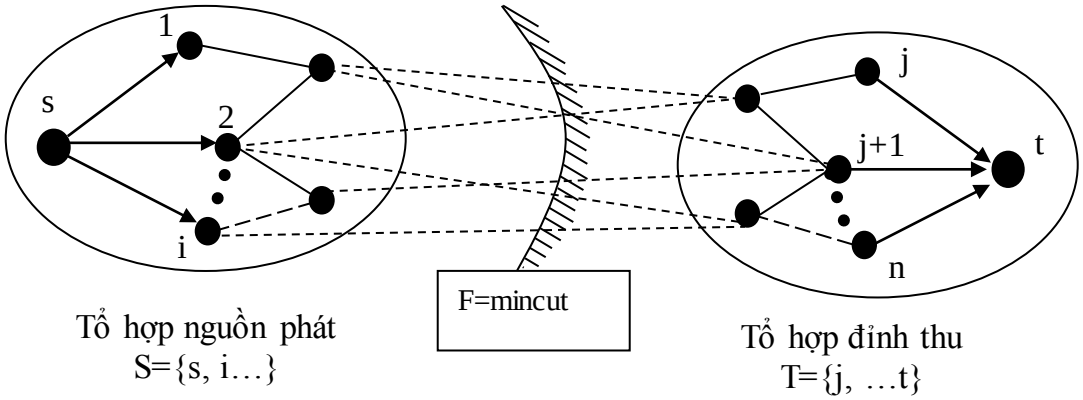
Hình 1.20: Vị trí và thông lượng các lát cắt trên sơ đồ mô hình hóa.

Bảng 1.2: Vị trí và thông lượng của các lát cắt.

Stt	**Lát cắt**	**Dung lượng truyền**
1	$f_1=c_{s-1}+c_{s-2}$	30+40=70
2	$f_2=c_{s-2}+c_{1-2}+c_{1-t}$	40+20+50=110
3	$f_3=c_{s-1}+c_{1-2}+c_{2-t}$	30+20+35=85
4	$f_4=c_{1-t}+c_{2-t}$	50+35=85

Thực tế mặt cắt tối thiểu nằm ở đâu thì cần cải tạo quy hoạch tại vị trí đó. Do đó vấn đề xác định điểm nghẽn mạch (nút thắt cổ chai) trong vận hành lưới điện là rất quan trọng. Điều này tương đương với việc xác định vị trí lát cắt cực tiểu trong mạng điện. Giả sử sau khi mô hình hoá từ sơ đồ mạng sang sơ đồ số, vị trí lát cắt cực tiểu như hình 1.20.

Giải thuật cho kết quả cuối cùng là sự phân chia mạng điện thành hai vùng riêng biệt; vùng tổ hợp nguồn phát (s) và vùng tổ hợp tải (t) liên kết với nhau bằng các nhánh có tổng giá trị thông lượng nhỏ nhất. Lát cắt cực tiểu được xem như sự phân chia hai vùng bằng một tổ hợp ngay tại vị trí xung yếu nhất này.



Hình 1.21: Vị trí của lát cắt cực tiểu trên mạng mô hình hoá.

Từ vị trí của lát cắt cực tiểu trong mạng có thể chia ra thành các trường hợp có thể quy hoạch, vận hành lưới điện như sau:

Bảng 1.3: Các trường hợp xảy ra vị trí lát cắt.

Trường hợp	**Lát cắt cực tiểu**	**Ghi chú**
1	$f=\sum_{\substack{i=1\\ i\neq s}}^{t} c_{si}$	Lát cắt thuộc tập nguồn phát, cần quy hoạch nguồn.
2	$f=\sum_{\substack{i=1\\ i\neq t}}^{s} c_{it}$	Lát cắt thuộc tập đỉnh thu, cần phân phối tải.

3	$f=\sum_{\substack{i,j=1\\ i\neq j}}^{n} c_{ij}$	Lát cắt thuộc tập các nhánh trên đường truyền. Quy hoạch và mở rộng đường dây truyền tải.
4	$f=\sum_{\substack{i=1\\ i\neq s}}^{t} c_{si} + \sum_{\substack{i,j=1\\ i\neq j}}^{n} c_{ij}$	Lát cắt thuộc tập các nhánh nguồn phát và đường dây cần quy hoạch nguồn và mở rộng đường dây tại ví trí lát cắt.
5	$f=\sum_{\substack{i=1\\ i\neq t}}^{s} c_{it} + \sum_{\substack{i,j=1\\ i\neq j}}^{n} c_{ij}$	Lát cắt thuộc tập các nhánh đỉnh thu và đường dây cần quy hoạch tải và mở rộng đường dây tại vị trí lát cắt.

Giới hạn: Trong nội dung nghiên cứu này, nếu lát cắt cực tiểu thuộc tập hợp nguồn phát (s) hay đỉnh thu (t) (trường hợp 1 và 2) là vấn đề thuộc về quy hoạch nguồn và phân phối lại phụ tải hệ thống. Mặt khác, hai nút nguồn phát (s) và tải (t) trong sơ đồ chuyển đổi là hai nút giả định để hình thành mạng khép kín cho việc sử dụng thuật toán lát cắt cực tiểu. Trong mạng điện các nguồn phát giả sử được phát trực tiếp vào các thanh cái và tải tiêu thụ coi như quy về đầu nút của các thanh cái. Hơn nữa, hai nút này không tập trung như sơ đồ mô hình hoá mà phân tán trên phạm vi mạng nên không thuộc nội dung nghiên cứu cho việc xác định vấn đề quy hoạch nút nguồn cũng như nút tải. Bài toán chỉ tập trung xác định nhánh nghẽn mạch có thể có trong sơ đồ mạng điện thông qua sơ đồ chuyển đổi sử dụng thuật toán min-cut. Do đó, loại bỏ những lát cắt cực tiểu rơi vào hai vị trí này nếu có và xét những lát cắt đi qua tập những nhánh cụ thể trong lưới có giá trị nhỏ nhất có thể gây nghẽn mạch trong hệ thống điện.

Tóm lại: với việc sử dụng phương pháp lát cắt cực tiểu và luồng công suất cực đại ứng dụng trong hệ thống điện, việc tìm kiếm tập hợp những nhánh có khả năng gây nghẽn mạch hệ thống là nhanh chóng, chính xác. Giải pháp được đề xuất này cũng khắc phục được những hạn chế của những phương pháp trước đây như giải thuật Gen, phương pháp liệt kê hoặc thử sai. Kết quả cuối cùng của giải pháp

là sự phân chia mạng thành hai vùng nguồn (source) và tải (sink) một cách khoa học. Điều này khiến cho việc giới hạn phạm vi không gian tìm kiếm giải pháp hiệu quả hơn.

Việc kết hợp giải thuật tìm kiếm max-flow min-cut này với những tính năng ưu việt của thiết bị bù TCSC trong điều khiển dòng công suất sẽ là giải pháp tối ưu cho bài toán chống quá tải hệ thống điện giảm chi phí sản xuất điện năng.

❖ **Nhận xét chung:**

- Bất kể khi nào ràng buộc vật lý hoặc ràng buộc vận hành trong lưới truyền tải bị vi phạm thì hệ thống được coi là đang ở trạng thái nghẽn mạch.

- Quản lý nghẽn mạch là một trong những thách thức trong hệ thống nhiều nhà cung cấp và nhiều nhà tiêu thụ.

- Tùy theo mô hình thị trường điện thực tế mà chúng ta lựa chọn các phương pháp điều khiển nghẽn mạch khác nhau, mỗi phương pháp đều có ưu và nhược điểm riêng.

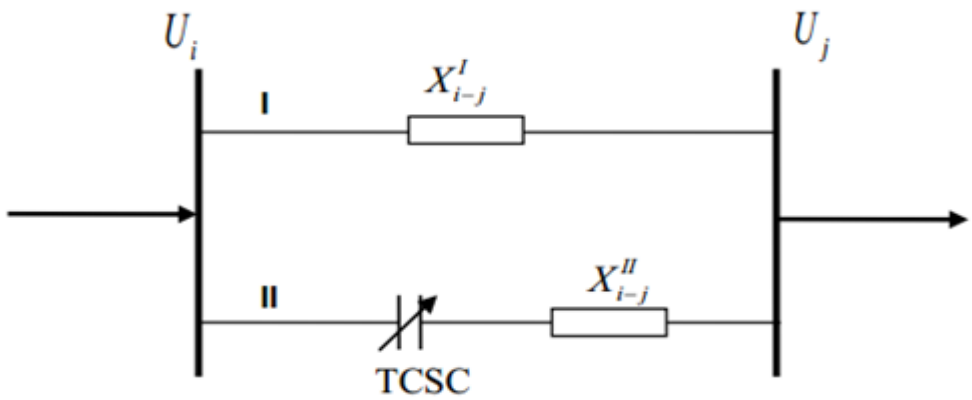
- Trong đề tài này tác giả sử dụng thiết bị FACTS để quản lý nghẽn mạch đồng thời nâng cao khả năng truyền tải của hệ thống điện giảm được chi phí sản xuất điện năng. Luận văn có ứng dụng chương trình Max-Flow và sử dụng phần mềm Powerworld để giải quyết bài toán này.

CHƯƠNG 2

MÔ HÌNH TOÁN HỌC

2.1. BÀI TOÁN PHÂN BỐ CÔNG SUẤT:

Để xác định luồng công suất trên các nhánh của lưới điện cần định nghĩa một số đại lượng và xét sơ đồ như hình 2.1 sau:



Hình 2.1: Mô hình truyền tải điện trên 2 nhánh song song.

Nếu bỏ qua điện trở trên đường dây truyền tải thì X_{ij}^{I}, X_{ij}^{II} là điện kháng trên hai nhánh truyền tải điện I, II giữa hai thanh cái i và j.

U_i, U_j: là điện áp tại hai đầu thanh cái.

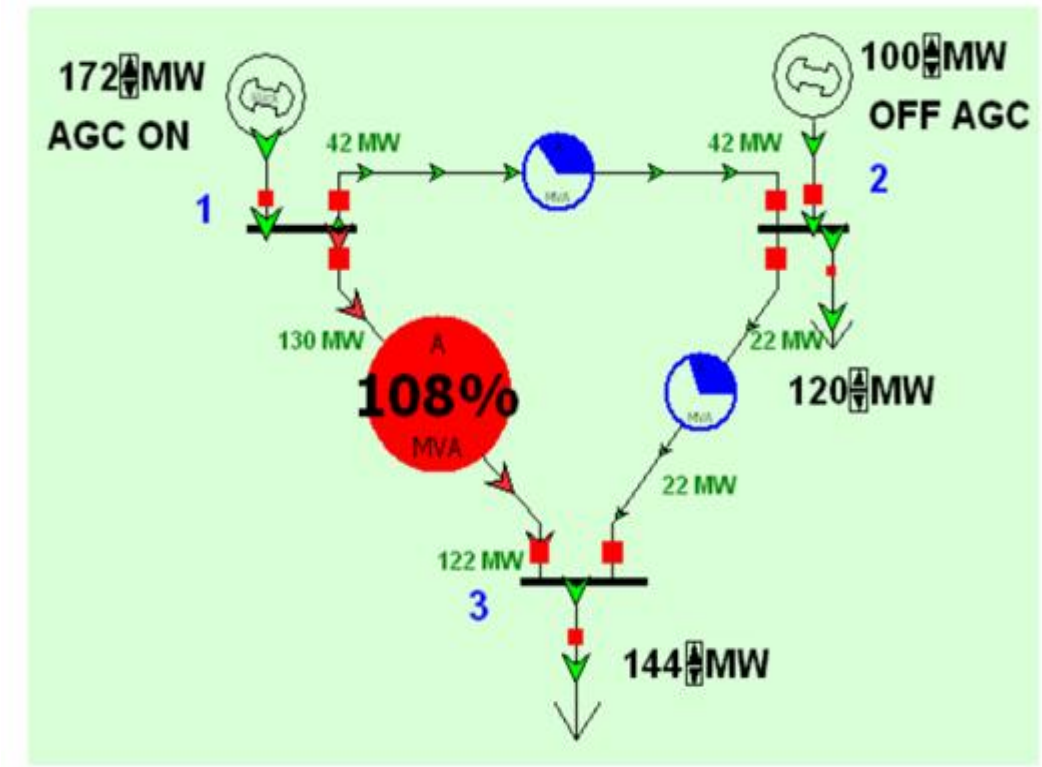
Giả sử thiết bị bù TCSC được lắp đặt trên nhánh II của lưới. Khi đó, công suất truyền tải trên hai nhánh từ thanh cái i đến thanh cái j được tính theo biểu thức:

$$P = \frac{U_i U_j}{X^I_{i-j}} \sin \delta_{i-j} + \frac{U_i U_j}{X^{II}_{i-j} + X_{TCSC}} \sin \delta_{i-j} = P^I + P^{II} \qquad (2.1)$$

Từ biểu thức (2.1) cho thấy: dòng công suất trên nhánh II (P^{II}) có thể điều khiển tăng hoặc giảm bằng cách thay đổi giá trị bù X_{TCSC}. Điều này đồng nghĩa với việc điều chỉnh dòng công suất truyền tải trên nhánh I giảm hoặc tăng theo. Ở trạng thái tĩnh

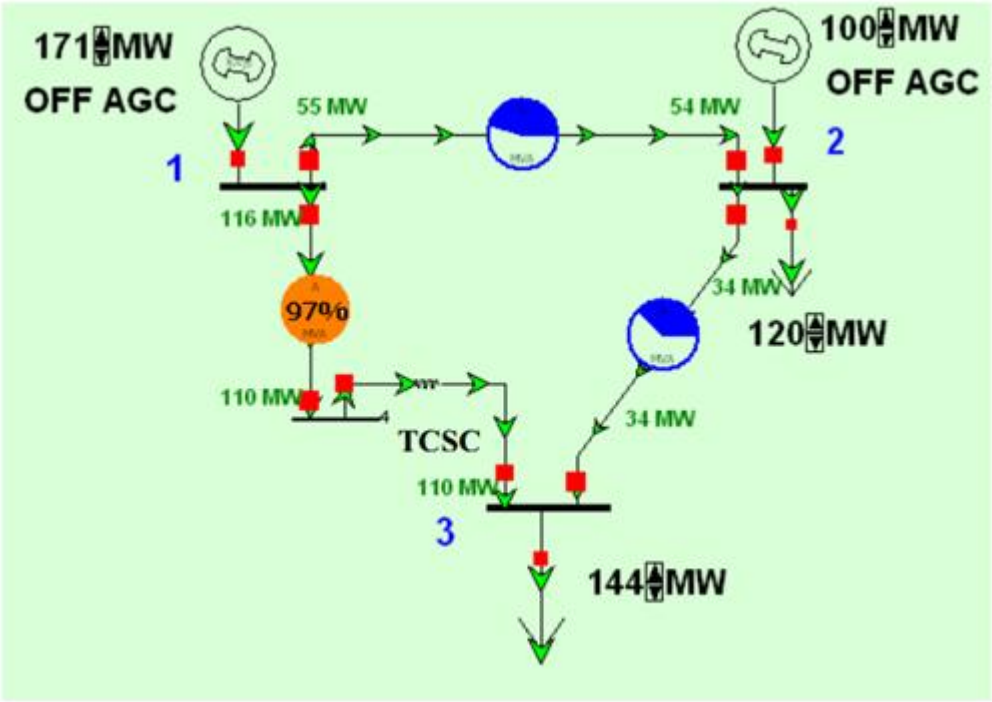
TCSC được xem như một tụ điện tĩnh –jXc nên khi lắp đặt vào nhánh nào sẽ gia tăng khả năng truyền tải của nhánh đó do tổng giá trị điện kháng giảm đi. Ngoài ra, nó cũng có khả năng bù âm hoặc bù dương nên ngoài việc gia tăng khả năng truyền tải, tăng độ dự trữ ổn định tĩnh còn có thể điều khiển dòng công suất vào các nhánh khác trong mạch vòng để hạn chế sự cố nghẽn mạch. Nghĩa là khi gia tăng giá trị X_{TCSC} thì dòng công suất truyền tải trên nhánh II sẽ giảm. Do đó công suất truyền tải trên đoạn i-j được đẩy qua nhánh I để đảm bảo P=Const.

Tuy nhiên việc tính toán giải bài toán phân bố công suất trong mạng điện cho đến nay đã được máy tính hoá bằng các phần mềm mô phỏng ứng dụng như Powerworld hay Matlab,... Các phần mềm có tốc độ giải rất nhanh đã giảm thời gian và công sức cho việc tính toán bằng tay trước đây. Vấn đề là chỉ phải nhập các thông số cơ bản của các phần tử trong hệ thống điện. Các phần mềm này có khả năng cho cái nhìn trực quan về giá trị dòng công suất truyền tải qua các nhánh như hình 2.2 dưới đây:



Hình 2.2: Mô phỏng phân bố công suất trên lưới điện bằng Powerworld.

Sơ đồ lưới điện ba thanh cái hình 2.2 cho thấy sự phân bố dòng công suất trong lưới điện trên các nhánh. Dòng công suất trên các nhánh 1-2, 1-3 và 2-3 lần lượt là 42MW, 130MW và 22MW. Ngoài các biện pháp điều chỉnh công suất phát hay phân phối lại hệ thống phụ tải như trước đây để chống quá tải trên nhánh 1-3. Vấn đề lắp đặt thiết bị bù trên nhánh 1-3 đã đề xuất có khả năng điều chỉnh dòng công suất phân bố trong mạng để chống quá tải như hình 2.3.



Hình 2.3: Mô phỏng phân bố lại công suất trên lưới khi có thiết bị bù.

Như vậy, sau khi lắp đặt thiết bị bù điều khiển dòng công suất trong mạng. Vấn đề quá tải đã được giải quyết, dòng công suất trên lưới đã được phân bố lại một cách hợp lý hơn trên các nhánh. Điều này cho thấy tính ưu việt của thiết bị bù TCSC trong việc điều khiển dòng công suất trên lưới. Ngoài việc gia tăng khả năng truyền tải, còn có thể điều chuyển dòng công suất để sử dụng tối đa giới hạn truyền tải của các nhánh khác trong vòng nghẽn mạch.

Những phân tích trên đây cho thấy: chỉ có thể phát huy tối đa ứng dụng của FACTS khi đã xác định được vòng quá tải trên lưới. Do đó, làm thế nào để xác định được tập hợp những nhánh xung yếu nhất có khả năng gây quá tải thường xuyên hệ thống mới là cốt lõi của vấn đề. Nói cách khác là khi đã xác định được những vòng có chứa nhánh quá tải thì bài toán chống nghẽn mạch coi như đã hoàn tất. Công việc tiếp theo là tìm giải pháp để xử lý sự cố trên tập hợp những nhánh quá tải đó. Nội dung nghiên cứu này đề cập đến tính hiệu quả cuả TCSC trong việc điều khiển dòng công

suất. Do đó việc xác định giá trị bù của TCSC tại nhánh quá tải để phân bố lại dòng công suất trong mạng là thiết thực. Vấn đề còn lại chỉ là giải bài toán phân bố một cách hợp lý để giải quyết mục tiêu đề ra. Như vậy, việc kết hợp thuật toán Max-flow và bài toán phân bố công suất sẽ chỉ ra vị trí hợp lý nhất cho việc tác động để điều khiển dòng công suất trong mạng điện như ý muốn.

2.2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH MẶT CẮT TỐI THIỂU:

Phương pháp xác định mặt cắt tối thiểu (min-cut) được Mechthild Sroer và Frank Wager phát triển từ nguyên lý Max-flow Min-cut của Ford và Fulkerson (1956) để xác định lát cắt nhỏ nhất của một đồ thị vô hướng. Hay đơn giản là tìm ra lát cắt chia tập hợp các đỉnh của sơ đồ thành hai phần riêng biệt với trọng số của lát cắt là tổng trọng số của các cạnh nối hai phần thông qua lát cắt. Nguyên lý được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: thiết kế mạch, kiểm tra ổn định các mạng truyền thông, quy hoạch mạng vận tải hay phân nhóm.

2.2.1. Giải thuật:

Định nghĩa đồ thị vô hướng được ký hiệu là G với tập hợp các đỉnh V và tập hợp các cạnh E. Mỗi một cạnh E có một giá trị thực và không âm gọi là trọng số w(e).[1]

Đặt s và t là hai đỉnh của một sơ đồ G. Đặt G/{s, t} là đồ thị đạt được bằng sự kết hợp giữa s và t.

Như vậy sẽ tồn tại hai lát cắt là: lát cắt cực tiểu s-t (a minimum s-t cut) và lát cắt cực tiểu của sơ đồ G (a minimum cut of G/{s, t}).

Lát cắt cực tiểu của đồ thị vô hướng ban đầu sẽ được chọn bằng giá trị lát cắt nhỏ hơn trong hai giá trị lát cắt cực tiểu trên.

Minimumcutphase (G, w, a) = minimum [minimum s-t cut, minimum cut ofG/{s, t}].

Trong đó: a là đỉnh đầu tiên được chọn cho việc bắt đầu tìm kiếm và được chọn tuỳ ý trong mỗi bước.

Giải thuật này còn được biết đến như việc tìm kiếm số cực đại hay tìm kiếm kế cận cực đại.

2.2.2. Nhận xét:

Thứ nhất: Do giải thuật được đề xuất ứng dụng cho đồ thị vô hướng nên vấn đề chọn lựa nguồn phát s và đỉnh thu t là tuỳ ý sau mỗi lát cắt. Điều này dẫn đến phạm vi tìm kiếm giải pháp bị tăng lên do phải tìm kiếm tất cả các khả năng có thể của lát cắt đi qua các đỉnh. Giải thuật không quan tâm đến khả năng thu hẹp không gian tìm kiếm mà giải lập với tất cả các nút được đề xuất. Nói rõ hơn là đối với một mạng có n nút thì có thể xảy ra A_n^2 = n (n-2) khả năng chọn lựa hai đỉnh bất kỳ đặt làm s và t. Như vậy, không những không gian tìm kiếm bị gia tăng mà thời gian tìm kiếm giải pháp cũng tăng lên đáng kể.

Thứ hai: Kết quả lát cắt cực tiểu của giải thuật có thể là s-t cut-set hoặc G/{s,t} cut-set nên có khả năng lát cắt cực tiểu không đảm bảo phân chia nguồn s và tải t ở hai nửa của mặt phẳng cắt. Do đó không thể khống chế và đảm bảo luồng công suất truyền qua lát cắt là duy nhất cho việc xác định giá trị cực tiểu.Vì với những lát cắt này, luồng công suất từ nguồn phát s có thể truyền tới phụ tải t thông qua những đường khác mà lát cắt không đi qua.

Từ những bất cập của giải thuật nói trên dẫn tới: kết quả có thể chỉ ra điểm yếu của đồ thị vô hướng nhưng không đảm bảo đó là điểm yếu nhất mà nguồn có thể truyền phát qua tải. Trong khi đó, luồng công suất điện truyền tải trong mạng lại luôn thay đổi khi có sự điều chỉnh hoặc khống chế bất kỳ nhánh nào trên mạng. Điều này cho thấy, giải thuật đã được giới thiệu cho đồ thị vô hướng của Mechthild Stoer và Frank Wager khó có thể áp dụng vào lưới điện truyền tải để xác định tập hợp những nhánh quá tải của hệ thống điện.

Việc kế thừa, phát huy và cải tiến những bất cập của giải thuật này đã được hình thành và giới thiệu trong nội dung nghiên cứu để cho ra lưu đồ giải thuật Max-flow Min-cut. Giải thuật mới đề xuất khắc phục được những khuyết điểm của giải thuật

trước đây để có thể ứng dụng trong sơ đồ mạng điện giới thiệu trong mục 3 chương 2 dưới đây.

2.3. LƯU ĐỒ XÁC ĐỊNH MẶT CẮT TỐI THIỂU – LUỒNG CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI:

2.3.1. Nguyên lý:

Phát triển từ nguyên lý cơ bản về Max-flow Min-cut và giải thuật Min-cut giới thiệu trong Chương 1. Thuật toán xác định mặt cắt tối thiểu và luồng công suất cực đại trong mạng điện được hình thành theo những bước sau:

Bước 1: Thành lập ma trận $A=A_{nxn}$.

Đối với mạng n nút cho tổng thông lượng có thể truyền tải giữa các nút trong mạng. Trong đó, thành phần đường chéo chính bằng $a_{ii}=0$. Các thành phần còn lại a_{ij} là thông lượng liên kết giữa hai nút i-j có giá trị đối xứng nhau qua đường chéo chính ($a_{ij}=a_{ji}$). Những nút không nối với nhau có giá trị $a_{ij}=0$.

Bước 2: Chọn hướng cắt.

Tổ hợp nút nguồn S= {s}

Tổ hợp đỉnh thu T= {t}.

Tính tổng giá trị hàng thứ nhất-tương đương với tổng các thông lượng của các nút được nối với tổ hợp nút nguồn phát S.

$$\sum si = a_{ss} + a_{s1} + a_{s2} + a_{st} = \sum a_{si}$$

Tính tổng giá trị hàng cuối cùng - tương đương với tổng thông lượng của các nút được nối với tổ hợp đỉnh thu T.

$$\sum it = a_{ts} + a_{t1} + a_{t2} + a_{tt} = \sum a_{ti}$$

Thêm tổ hợp các nhánh C_{si} và tổng thông lượng $\sum si$ vào danh sách listcut.

Thêm tổ hợp các nhánh C_{it} và tổng thông lượng $\sum it$ vào danh sách listcut.

C_{si} là thông lượng của các cung từ tổ hợp nguồn phát S đến nút i.

C_{it} là thông lượng của các cung từ nút thứ i tới tổ hợp đỉnh thu T.

Bước 3: Chọn nút giảm trong sơ đồ.

- Nếu $\sum si > \sum it$

$C_{max} = max[a_{si}] = max[a_{ss}, a_{s1}, a_{s2}, a_{st}]$

Di chuyển nút i vào tổ hợp nguồn phát S={s,i} bằng cách:

Bỏ và cộng giá trị hàng i vào hàng s.

Bỏ và cộng giá trị cột i vào cột s.

Quay lại bước 2:

- Nếu $\sum si < \sum it$

$C_{max} = max[a_{it}] = max[a_{st}, a_{t1}, a_{t2}, a_{tt}]$

Di chuyển nút i vào tổ hợp đỉnh thu T={t,i} bằng cách:

Bỏ và cộng giá trị hàng i vào hàng t.

Bỏ và cộng giá trị cột i vào cột t.

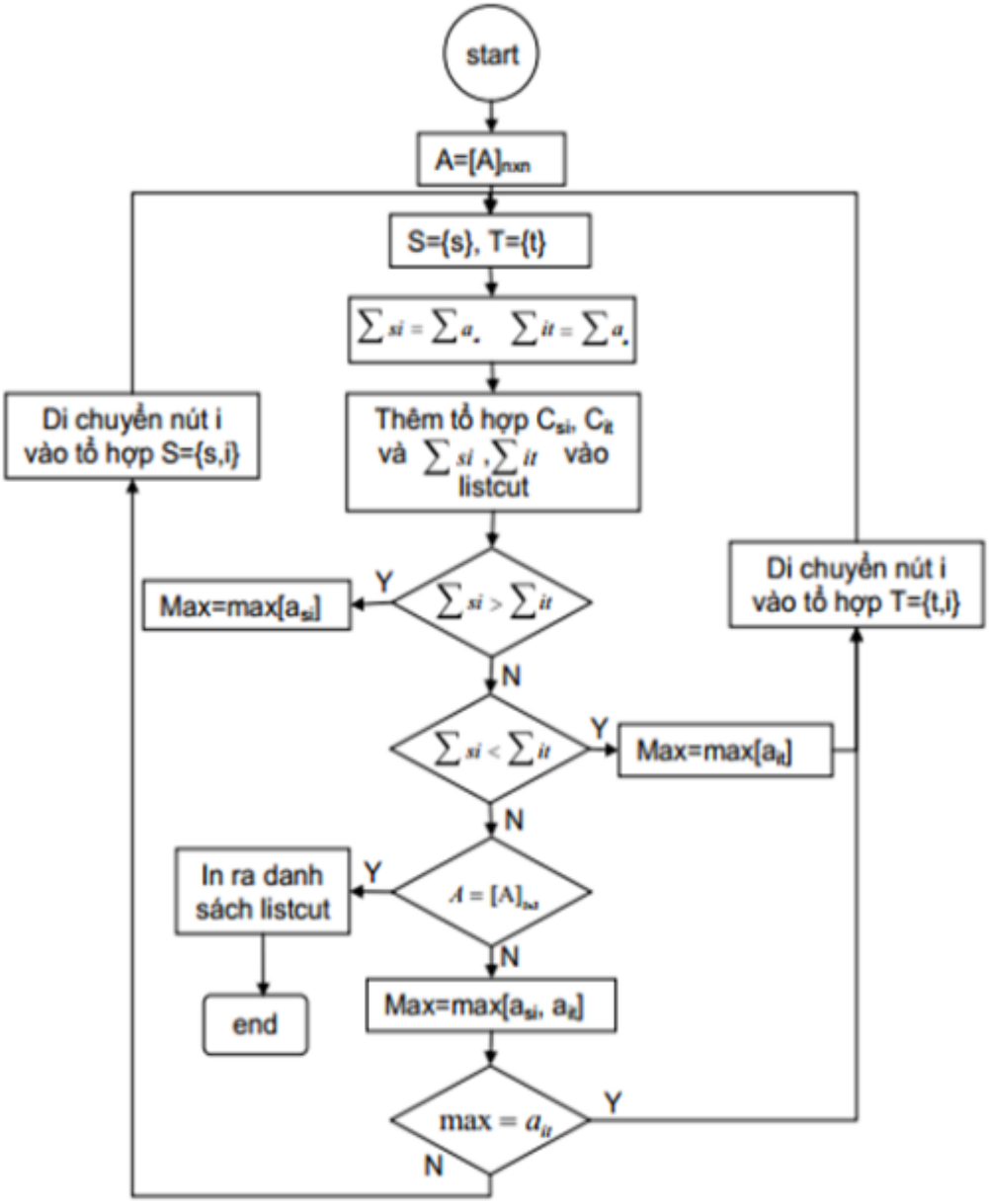
- Nếu $\sum si = \sum it$

Kiểm tra ma trận $A = [A]_{n \times n}$

- Nếu $n \neq 2$ thì:

$C_{max} = max[a_{si}, a_{it}]$

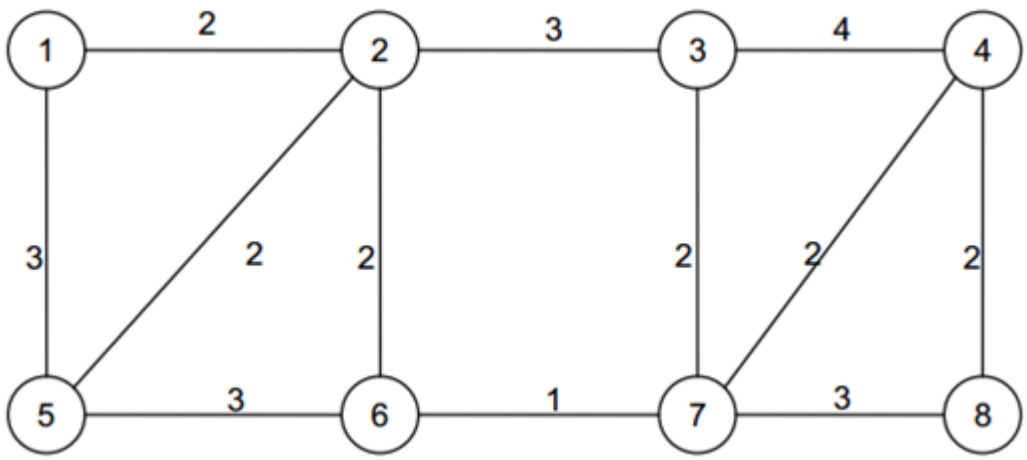
- Nếu max=a_{it} thì di chuyển nút i vào tổ hợp đỉnh thu T, ngược lại thì di chuyển nút i vào tổ hợp nguồn phát S và quay lại bước 2.
- Nếu n=2 thì xuất ra kết quả trong danh sách listcut và dừng lặp.



Hình 2.4: Lưu đồ giải thuật xác đinh luồng cồn suất cực đại.

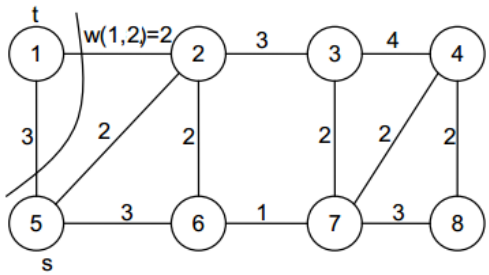
Để có cái nhìn khái quát và sự so sánh kết quả của hai giải thuật đã đề xuất. Một đồ thị vô hướng 8 nút được giải bằng thuật toán Mechtild Stoer và Frank Wagner được so với sơ đồ mô hình hoá mạng 8 nút giải bằng thuật toán Max-flow Min-cut được đề xuất trong nội dung nghiên cứu này. Kết quả so sánh từ hai giải thuật được trình bày trong ví dụ dưới đây.

Ví dụ: Tìm lát cắt cực tiểu cho đồ thị vô hướng 8 nút như hình 2.5:



Hình 2.5: Đồ thị vô hướng 8 nút.

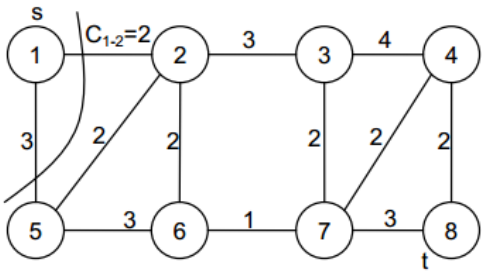
Min-cut theo Mechthild Stoer và Frank Wagner



Giải thuật bắt đầu với việc chọn đỉnh a=2. Các đỉnh s và t được tuỳ chọn sau mỗi lần cắt sẽ thay đổi.

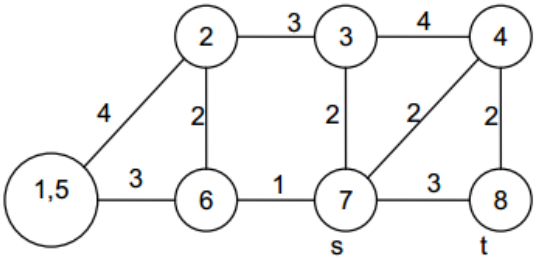
Sau lát cắt đầu tiên (G, w, a), a=2 đáp ứng chia hai phần gồm các đỉnh {1}, {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} với trọng số là w=5.

Thuật toán max-flow min-cut đề xuất

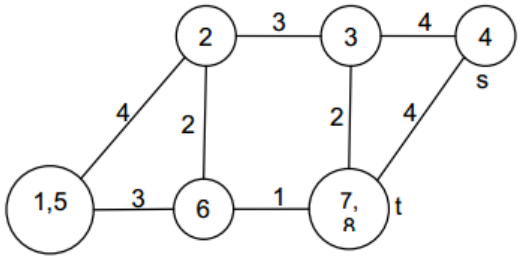


Giải thuật được bắt đầu với việc chọn giá trị s=1 và t=8 là hai đỉnh cố định của sơ đồ.

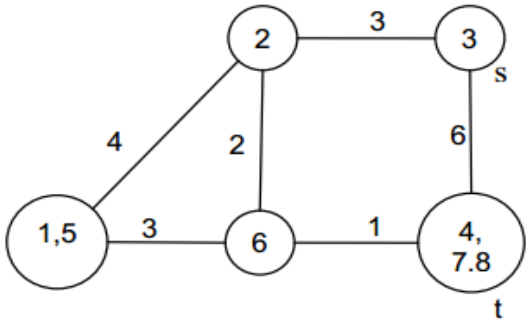
Lát cắt đầu tiên thuộc tập nguồn đáp ứng chia s và t thuộc hai tập S, T với tổng trọng số của lát cắt là f=5 (S= {1}).



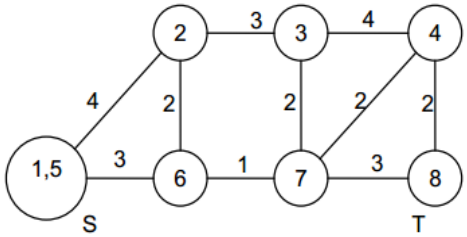
Lát cắt thứ hai đáp ứng chia các đỉnh thành hai phần bao gồm {8}, {1, 2, 3,4,5, 6, 7} cũng với trọng số là w=5.



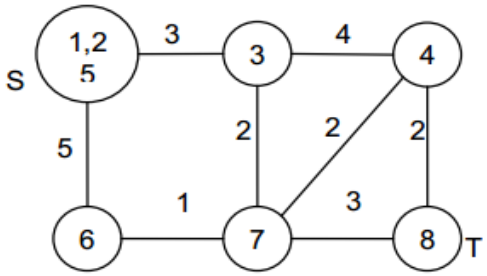
Sau lát cắt thứ ba đáp ứng chia các đỉnh thành hai phần gồm {7, 8}, {1, 2, 3, 4, 5, 6} với trọng số là w=7.



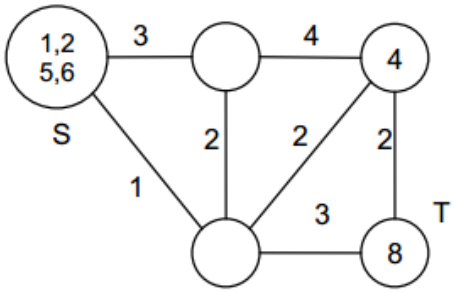
Sau bốn lát cắt với việc chia các đỉnh thành hai phần bao gồm {4, 7, 8}, {1, 2, 3, 5, 6} với trọng số là w=7.



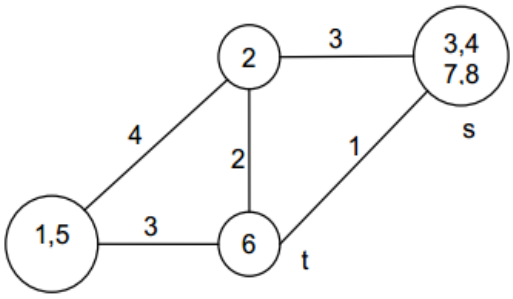
Lát cắt thứ hai qua tập nguồn S={1,5} với tổng trọng số là f=7.



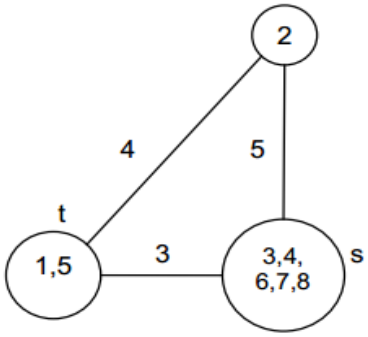
Lát cắt thứ 3 qua tập nguồn S= {1, 2, 5} với tổng trọng số của lát cắt là f=8.



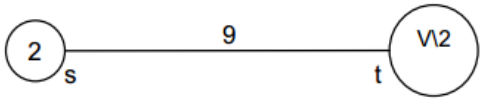
Lát cắt thứ 4 qua tập tải thu T={8} với tổng trọng số của lát cắt là f=5.



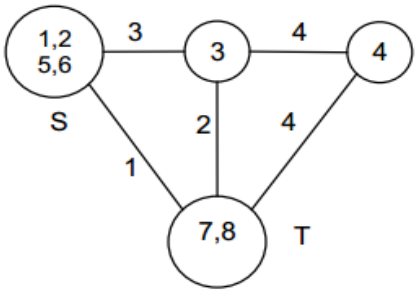
Sau năm lát cắt với việc chia các đỉnh thành hai phần gồm {3, 4, 7, 8} và {1, 2, 5, 6} với trọng số là w=4.



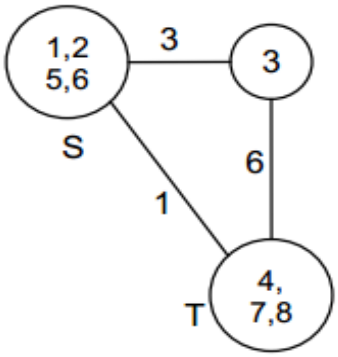
Sau lát cắt thứ sáu đáp ứng chia các đỉnh {1, 5}, {2, 3, 4, 6, 7, 8} với trọng số là w=7.



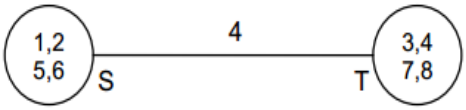
Sau bảy lát cắt đảm bảo việc đáp ứng chia các đỉnh {2}, V\{2} với trọng số là w=9. Như vậy với a=2 thì sau 7 lát cắt giá trị min-cut là w=4, giải thuật sẽ lặp lại với tất cả các trường hợp tuỳ chọn đỉnh bắt đầu a=V\{2}.



Lát cắt thứ 5 qua tập tải T={7,8} với tổng trọng số của lát cắt là f=7.



Lát cắt thứ 6 qua tập tải T={4,7,8} với tổng trọng số của lát cắt là f= 7.



Sau sáu lát cắt đảm bảo chia tất cả các đỉnh của sơ đồ thành hai tập S={1,2,5,6} và T={3,4,7,8} với giá trị cuối cùng liên kết giữa hai tập có trọng số là f=4.

2.3.2. Nhận xét:

Từ kết quả phân tích hai giải thuật cho thấy:

Với giải thuật M. S và F.W trước đây, việc chọn đỉnh a bất kỳ là đỉnh bắt đầu cho việc tìm kiếm các lát cắt thì kết quả cuối cùng chỉ đúng đối với đồ thị vô hướng.

Việc tuỳ chọn các đỉnh s và t sau mỗi lát cắt cũng khiến cho khả năng giới hạn phạm vi tìm kiếm không hiệu quả.

Cho dù chọn giá trị a, s, t bất kỳ a=V và s, t thuộc G thì giá trị Min-cut vẫn không thay đổi. Điều này không hợp lý và không thể áp dụng vào mạng điện vì khi thay đổi vị trí máy phát hoặc phụ tải thì điểm quá tải cũng bị thay đổi. Điều này được khắc phục bởi giải thuật Max-flow Min-cut vì khi thay đổi vị trí nguồn s thì giá trị và vị trí của lát cắt cực tiểu cũng sẽ thay đổi.

2.4. XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ CỦA TCSC:

Bất kỳ một lưới điện truyền tải hiện hữu nào cũng tồn tại tập hợp những nhánh yếu nhất có nhiều khả năng dẫn tới quá tải hệ thống. Tập hợp những nhánh yếu nhất đó còn gọi là điểm nút cổ chai. Đối với chương trình Max-flow đã giới thiệu, việc ứng dụng để xác định ra điểm nút cổ chai trong mạng điện là nhanh chóng chính xác, đơn giản lại dễ dàng sử dụng do yêu cầu thông số đầu vào đơn giản. Mặt khác, sử dụng chương trình này cho thấy: khi có bất kỳ sự thay đổi về nguồn phát hay phụ tải thì tập hợp các giá trị của lát cắt cực tiểu không thay đổi. Điều này cho thấy điểm xung yếu trong mạng điện là điểm cố định trừ khi cấu trúc lưới điện bị thay đổi.

Hệ thống truyền tải công suất có thể được gia tăng bằng các biện pháp điều chỉnh trở kháng đường dây và góc pha giữa các nút. Một trong các biện pháp để gia tăng khả năng truyền công suất được đề cập trong nghiên cứu này là bù nối tiếp, điều khiển điện kháng bù nối tiếp bằng TCSC để điều khiển dòng công suất truyền tải trên nhánh. Mục đích của việc bù là thay đổi các thuộc tính điện tự nhiên của hệ thống truyền tải đã thiết kế sẵn để tạo ra phạm vi điều khiển công suất rộng hơn. Nói cách khác là làm tăng khả năng truyền tải công suất trên nhánh có lắp đặt thiết bị bù để hạn

chế dòng công suất đi vào những nhánh khác, đảm bảo phân luồng công suất trong mạng lưới được linh hoạt và chủ động.

Giả sử công suất tác dụng truyền tải trên đường dây giữa hai nhánh gửi và nhận khi chưa có bù là:

$$P = \frac{U_S U_R}{X} sin\delta \quad (2.2)$$

Khi có bù nối tiếp bằng thiết bị bù TCSC trên đường dây, dung kháng X_{TCSC} sẽ làm tăng khả năng truyền tải của đường dây đó lên theo biểu thức:

$$P = \frac{U_S U_R}{X + X_{TCSC}} sin\delta \quad (2.3)$$

Trong đó:

US: điện áp đầu truyền.

UR: điện áp đầu nhận.

δ: góc lệch điện áp giữa hai đầu truyền và nhận.

X: điện kháng đường dây giữa hai đầu truyền và nhận.

XTCSC: điện kháng của thiết bị bù dọc TCSC, đơn giản chọn XTCSC= -jXc.

Như vậy khi lắp thiết bị bù trên đường dây truyền tải, có thể điều khiển dòng công suất tác dụng truyền trên đường dây đó bằng cách điều khiển giá trị trở kháng của thiết bị bù XTCSC. Những phân tích này cho thấy: vị trí thích hợp để lắp đặt thiết bị TCSC là tại những điểm nút cổ chai của hệ thống. Tại đó thiết bị bù có thể phát huy thuộc tính cải thiện độ dự trữ ổn định của hệ thống ngay tại nhánh đặt thiết bị. Điều này có thể làm giảm khả năng quá tải đường dây, phân luồng lại hệ thống công suất để tìm kiếm giải pháp tối ưu nhất.

Như vậy khi lắp thiết bị bù trên đường dây truyền tải, có thể điều khiển dòng công suất tác dụng truyền trên đường dây đó bằng cách điều khiển giá trị trở kháng của thiết bị bù XTCSC. Những phân tích này cho thấy: vị trí thích hợp để lắp đặt thiết bị TCSC là tại những điểm nút cổ chai của hệ thống. Tại đó thiết bị bù có thể phát huy thuộc tính cải thiện độ dự trữ ổn định của hệ thống ngay tại nhánh đặt thiết bị. Điều này

có thể làm giảm khả năng quá tải đường dây, phân luồng lại hệ thống công suất để tìm kiếm giải pháp tối ưu nhất.

Tóm lại: vấn đề tìm kiếm tập hợp những nhánh có khả năng dẫn đến quá tải hệ thống được giải quyết bằng chương trình Max-flow. Với chương trình được đề xuất này cho phép tìm ra tập hợp những nhánh xung yếu nhất của hệ thống điện một cách nhanh chóng và chính xác. Việc ứng dụng chương trình này giúp giảm thời gian và không gian tìm kiếm so với những ứng dụng của các chương trình hay phần mềm khác.

Hơn nữa, việc giải bài toán phân bố công suất ứng dụng phần mềm Powerworld, Matpower cho cái nhìn cụ thể hơn về khả năng điều khiển và nâng cao độ dự trữ cũng như chống quá tải hệ thống khi lắp đặt thiết bị bù trên nhánh xung yếu.

Từ hai vấn đề trên cho thấy: việc kết hợp chương trình Max-flow để tìm ra tập hợp nhánh quá tải hệ thống và ứng dụng mô phỏng bằng Powerworld hoặc Matpower để điều khiển luồng công suất trong mạng là hợp lý và chính xác. Từ đó có thể xác định vị trí tối ưu của TCSC cần lắp đặt trên lưới điện truyền tải là ngay tại vị trí xung yếu nhất của hệ thống. Sự kết hợp tìm kiếm giải pháp từ cả hai chương trình này ngoài tính chính xác còn giúp giảm rất nhiều thời gian và không gian tìm kiếm giải pháp tối ưu.

2.5. DUNG LƯỢNG BÙ TCSC:

TCSC có thể làm việc ở hai chế độ bù điện kháng hay bù dung kháng. Trong trường hợp nghiên cứu này chỉ xét chế độ làm việc bù dung kháng của TCSC trong hệ thống. Khi giá trị XTCSC bù trên nhánh i-j càng cao thì khả truyền tải công suất trên nhánh đó càng được cải thiện. Từ đó có thể hạn chế quá tải trên nhánh có gắn thiết bị bù. Tuy nhiên nếu tính đến chi phí cho một đơn vị công suất bù theo bảng 1.1 thì chi phí lắp đặt thiết bị bù TCSC tỷ lệ với dung lượng bù mà thiết bị này mang lại. Vì thế nếu cài đặt giá trị dung kháng bù XTCSC trên đường dây càng cao sẽ càng tốn kém và vi phạm vào chỉ tiêu về kinh tế, hay nói cách khác là tính hiệu quả của giải pháp mang lại là không cao khi mà chi phí quá lớn.

Như vậy giá trị bù của TCSC theo tài liệu [1,2] được xác định theo biểu thức:

$$X_{ij} = X_{line} + X_{TCSC} \quad (2.4)$$

$$X_{TCSC} = r_{TCSC}.X_{line} \quad (2.5)$$

r_{TCSC} : Hệ số bù của TCSC trên đường dây.

Như vậy để tránh hiện tượng quá bù giá trị r_{TCSC} giới hạn trong khoảng:

$$-0.7 \leq r_{TCSC} \leq 0.2 \quad (2.6)$$

Nghĩa là:

$$-0.7.X_{line} \leq X_{TCSC} \leq 0.2.X_{line} \quad (2.7)$$

Trong một số trường hợp giá trị X_{TCSC} có thể cho phép bù ở khoảng.

$$-0.5.X_{line} \leq X_{TCSC} \leq 0.5.X_{line} \quad (2.8)$$

Điều này cho thấy phạm vi điều khiển bù của TCSC trên lưới điện truyền tải là khá rộng. Các nghiên cứu trước đây cho thấy; hầu hết các hệ thống điện khi được lắp đặt thiết bị bù TCSC đều có thể làm tăng khả năng truyền tải của đường dây lên tới 30%. Điều này rất có ý nghĩa một khi xác định được tập hợp các nhánh quá tải trong mạng, hay nói cách khác là xác định được vòng quá tải nhỏ nhất trong mạng để tiến hành bù cho phù hợp.

2.6. LƯU ĐỒ XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG TCSC:

Từ những phân tích về việc cải tiến phương pháp mặt cắt tối thiểu từ những công trình nghiên cứu trước đây. Việc xây dựng thuật toán xác định lát cắt cực tiểu ứng dụng cho việc xác định tập hợp những nhánh xung yếu nhất trong mạng điện phân phối được hình thành qua các bước sau:

1. Nhập dữ liệu cho chương trình Max-flow. Chương trình này đòi hỏi thông số nhập vào khá đơn giản, công suất của các tổ máy phát và phụ tải tại các nút, giới hạn truyền tải của các nhánh trong sơ đồ. Sơ đồ mạng sẽ tự động hình thành sau khi nhập xong dữ liệu và cập nhật dữ liệu cho việc tính toán tiếp theo.

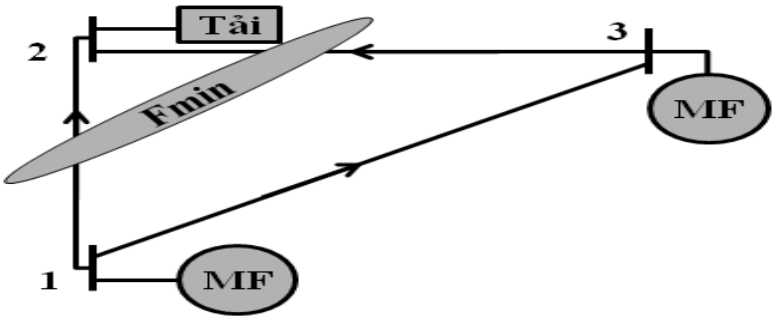
2. Tính toán xác định tập hợp nhánh nghẽn mạch bằng chương trình Max-flow. Việc tính toán xác định tập hợp các nhánh xung yếu nhất có khả năng gây nghẽn mạch hệ thống được thực hiện bằng chương trình một cách nhanh chóng và chính xác. Chương trình đưa tra giá trị Max-flow là tổng khả năng truyền tải có thể thông qua của tập hợp các nhánh trong giá trị Min-cut đó.

3. Nhập dữ liệu cho chương trình tính toán phân bố dòng công suất bằng chương trình Powerworld. Chương trình này đòi hỏi thông số nhập vào khá đầy đủ chi tiết. Việc nhập thông số cho quá trình tính toán mô phỏng chỉ được thực hiện khi hình thành được sơ đồ liên kết mạng. Điều này được thực hiện bằng cách chọn các phần tử thiết bị có sẵn trong thư viện và sau đó nhập thông số yêu cầu cho từng phần tử.

4. Tính toán chạy mô phỏng phân bố công suất bằng Powerworld. Việc tính toán chạy mô phỏng lưới điện bằng phần mềm này cho cái nhìn trực quan về các luồng công suất chạy trong mạng, vị trí và phần trăm quá tải trên các nhánh nếu có.

5. Kết hợp kết quả từ việc tìm kiếm và mô phỏng bằng hai chương trình để đặt TCSC vào vị trí nhánh quá tải trong tập hợp các nhánh quá tải hệ thống. Việc kết hợp này giúp giảm thời gian và không gian cho việc thử nghiệm trên tất cả các nhánh nghi ngờ.

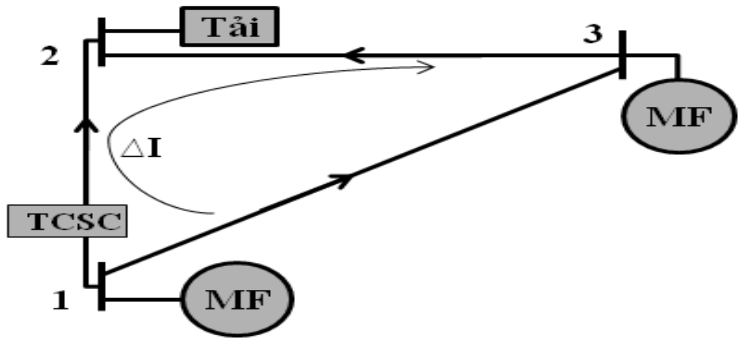
6. Xác định dung lương bù cần thiết.



Theo định luật K2 ta có:

$$I_{12}.Z_{12} - I_{23}.Z_{23} - I_{31}.Z_{31} = 0$$

Đặt TCSC vào nhánh 1-2 để thay đổi Z12 khi đó xuất hiện dòng điện ΔI trong vòng kín 1-2-3-1



Khi đó công thức trên viết lại là:

$$(I_{12} + \Delta I).(Z_{12} + Z_{TCSC}) - (I_{23} - \Delta I).Z_{23} - (I_{31} - \Delta I).Z_{31} = 0$$

Từ đó suy ra công thức tính dung lượng TCSC là:

$$Z_{TCSC} = -\frac{\Delta I(Z_{12} + Z_{23} + Z_{31})}{I_{12} + \Delta I}$$

Trong lưới điện nhất định thì I tỉ lệ với S nên công thức trên được viết lại:

$$Z_{TCSC} = -\frac{\Delta S(Z_{12} + Z_{23} + Z_{31})}{S_{12} + \Delta S}$$

Với ΔS là công suất cần giảm trên nhánh quá tải.

Và S_{12} là công suất trên nhánh đặt TCSC.

7. Lần lượt thay đổi phụ tải tại các nút của hệ thống lên tối đa là 20% để xác định giá trị bù của TCSC trong việc điều khiển chống nghẽn mạch khi có sự thay đổi phụ tải. Mỗi lần tăng phụ tải tại một nút của hệ thống thì phải tính toán phân bố lại dòng công suất để tìm giá trị bù vào hệ thống cho phù hợp.

8. Tăng tổng thể phụ tải hệ thống lên 20% để tìm giá trị bù của TCSC trong việc điều khiển chống nghẽn mạch.

9. Tổng hợp kết quả và đưa ra vị trí cũng như dung lượng tối ưu của TCSC trong mạng lưới đối với tất cả các trường hợp thử nghiệm.

10. Kết luận về vị trí và giá trị cài đặt của TCSC trên hệ thống điện để đảm bảo phát huy tối đa khả năng điều khiển cũng như việc chống quá tải khi có sự thay đổi nguồn phát và phụ tải.

Tính hiệu quả và ứng dụng của giải thuật đã đề xuất trong việc xác định ví trí và dung lượng tối ưu của TCSC trên lưới điện được kiểm tra trên hệ thống lưới điện ba nút, bảy nút và 14 nút. Những kết quả đạt được của việc mô phỏng và nhận xét được trình bày chi tiết trong các ví dụ cụ thể dưới đây.

2.7. LIÊN KẾT GIỮA MATLAB VÀ EXCEL:

Chương trình Mincut_Maxflow được viết trong môi trường Matlab, để chạy chương trình cần phải nhập matran các thông số của máy phát, tải, thông số đường dây. Vì mỗi lần chạy chương trình cần phải nhập matran như thế nên rất phức tạp và tốn thời gian nếu matran có kích thước lớn. Để khắc phục được điều đó cần liên kết matlab với một phần mềm nào đó để đơn giản khi nhập matran cho chương trình. Excel là một chương trình khá đơn giản để thực hiện được điều này.

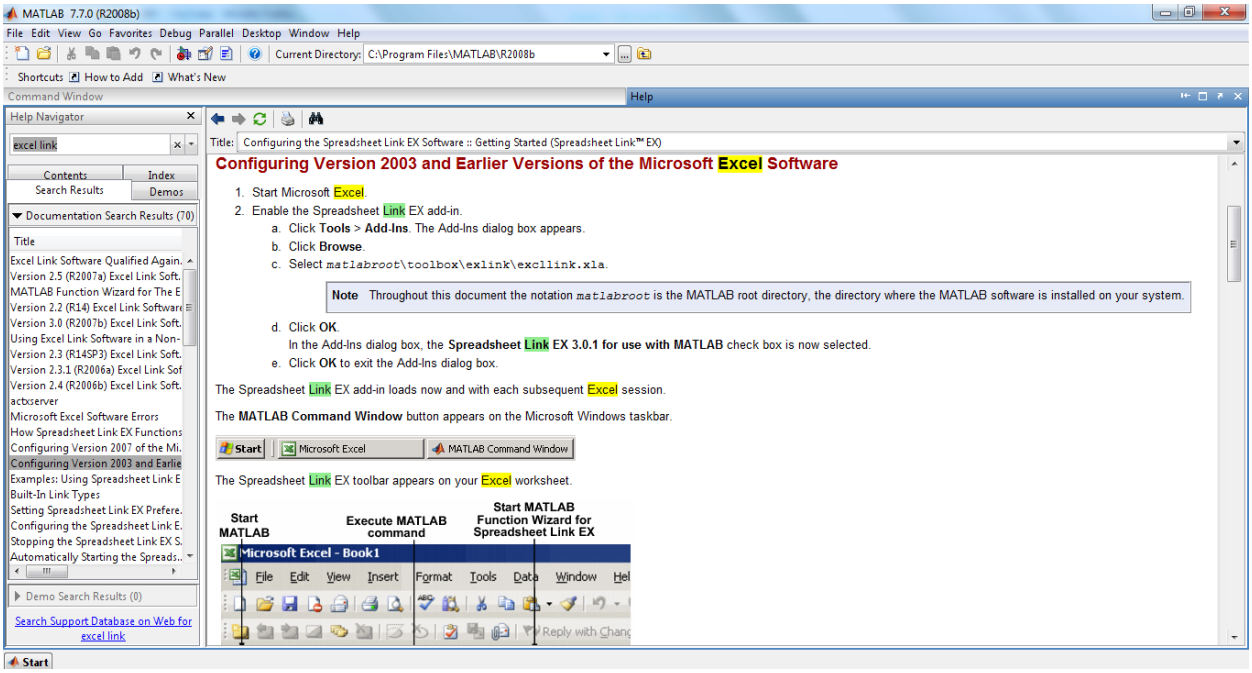
Các bước để liên kết Matlab và Excel được hướng dẫn trong thanh công cụ Help của Matlab. Cụ thể như sau:

Đối với Excel phiên bản 2003:

1. Khởi động Excel.
2. Kích hoạt the Spreadsheet Link EX add-in:
   a) Click **Tools**>**Add-Ins**. Hộp thoại Add-Ins xuất hiện.
   b) Click **Browse.**
   c) Chọn *matlabroot*\toolbox\exlink\excllink.xla
   d) Click **OK**.

Trong hộp thoại In the Add-Ins, the **Spreadsheet Link EX 3.0.1 for use with MATLAB** đã được chọn

e) Click **OK** để thoát hộp thoại the Add-Ins.



Đối với Excel phiên bản 2007:

1. Click **My Computer**>**Properties**. Hộp thoại The System Properties xuất hiện.
2. Click the **Advanced** tab.
3. Click **Environment Variables.**
4. Ở dưới **System variables**, click đôi the path variable. Hộp thoại The Edit System Variable window xuất hiện.
5. Add `matlabroot\bin\win32` vào mục **Variable value** field.
6. Click **OK** cho đến khi thoát khỏi hộp thoại System Properties.
7. Click chuột phải vào the MATLAB shortcut icon và chọn **Properties** từ context menu. Hộp thoại The Properties pane xuất hiện.
8. In the **Target** field, enter `/regserver`

9. Click **Apply.**
10. Khởi động Microsoft Excel session.
11. Kích hoạt the Spreadsheet Link EX add-in.

    a) Click , trong chương trình Microsoft Excel.

    b) Click **Excel Options**. Hộp thoại The Excel Options dialog xuất hiện.

    c) Click **Add-Ins**.

    d) Từ hộp thoại **Manage**, chọn **Excel Add-Ins**.

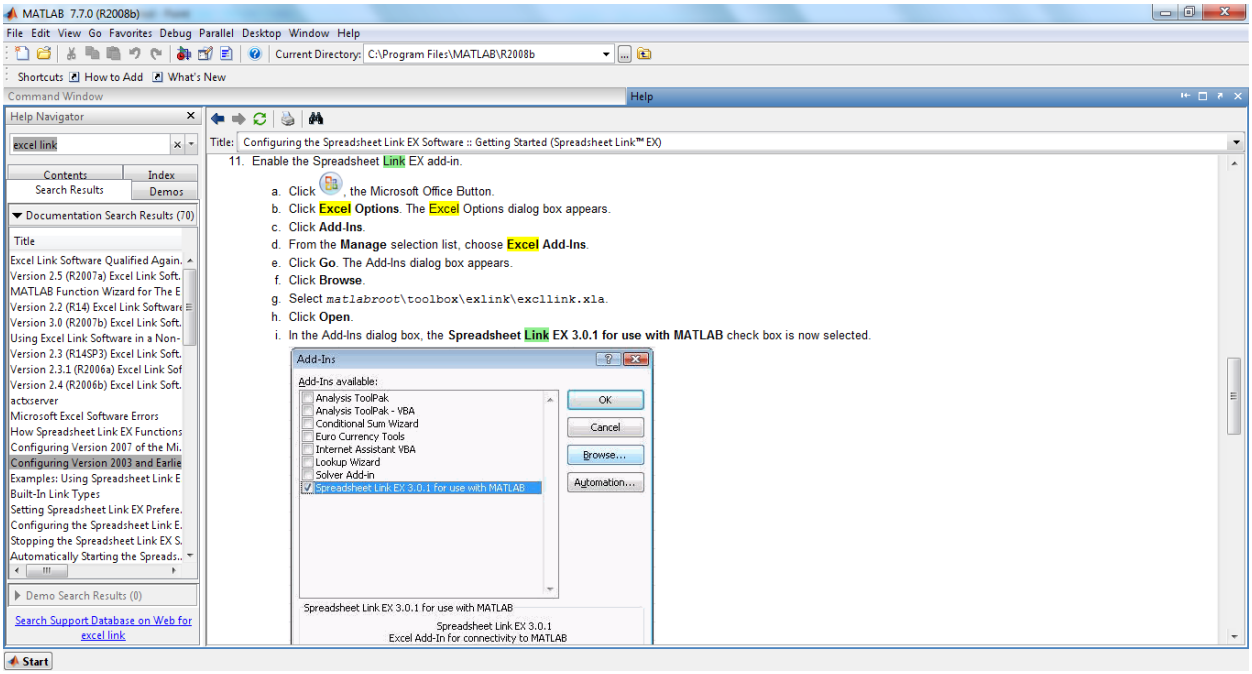
    e) Click **Go**. Hộp thoại The Add-Ins dialog xuất hiện.

    f) Click **Browse**.

    g) Chọn `matlabroot\toolbox\exlink\excllink.xla`

    h) Click **Open**.

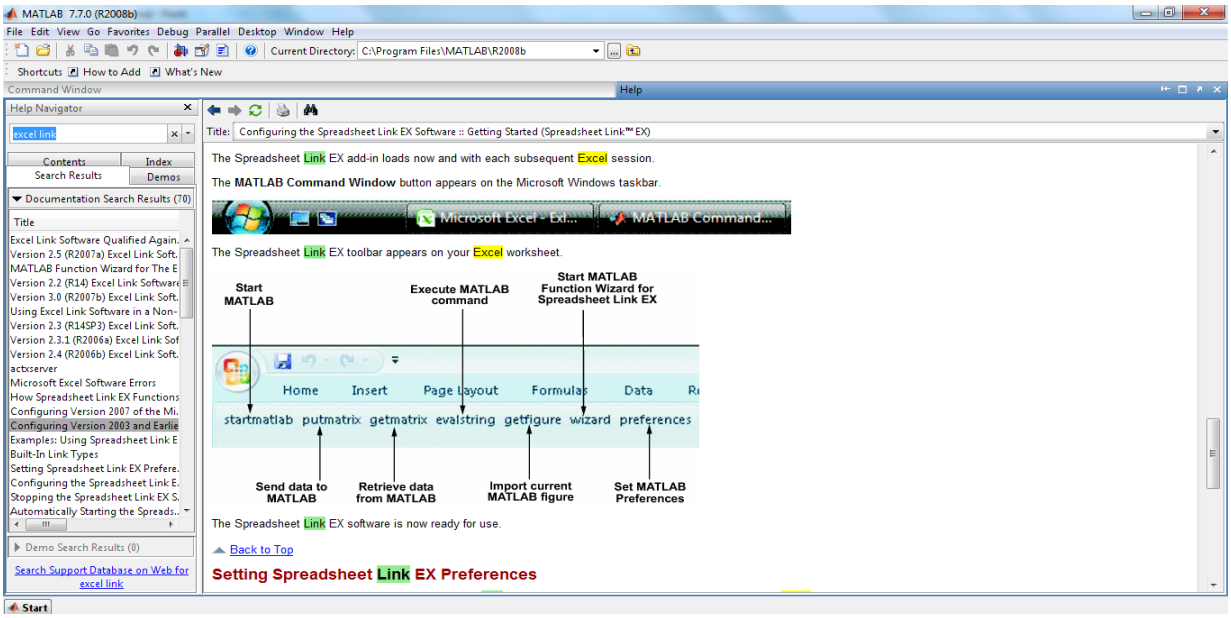
    i) Trong hộp thoại Add-Ins dialog, the **Spreadsheet Link EX 3.0.1 for use with MATLAB** đã được chọn.



    j) Click **OK** để đóng hộp thoạt the Add-Ins dialog.

k) Click **OK** để đóng the Excel Options dialog.

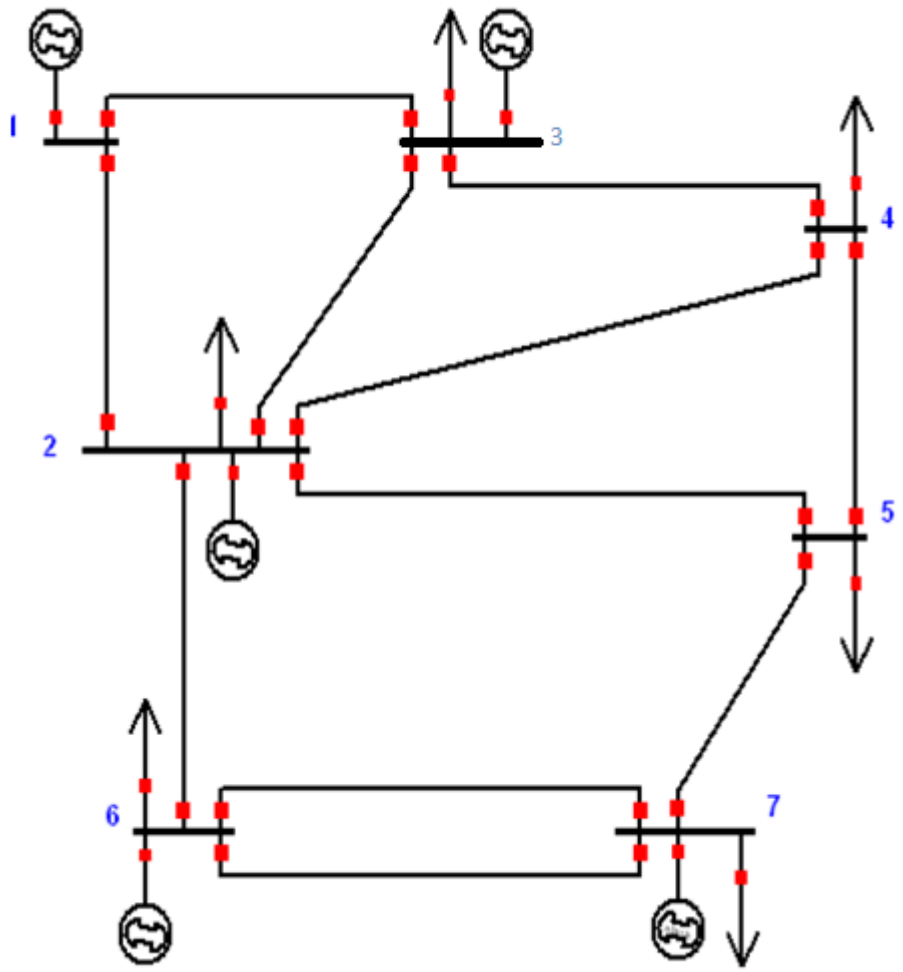
Hình ảnh chương trình Microsoft Excel sau khi liên kết:



CHƯƠNG 3

CÁC VÍ DỤ MÔ PHỎNG CỤ THỂ

3.1. SƠ ĐỒ LƯỚI ĐIỆN 7 BUS:



Hình 3.1: Sơ đồ lưới điện 7 thanh cái.

Bảng 3.1: Thông số các máy và tải phát được cho như sau:

STT	NÚT	P_G (MW)	Q_G (MVAR)	P_L (MW)	Q_L (MVAR)
1	1	230	80	0	0
2	2	150	50	100	15
3	3	35	90	150	40
4	4	0	0	80	30
5	5	0	0	130	40
6	6	250	100	200	100
7	7	200	100	200	100

Bảng 3.2: Thông số các đường dây được cho như sau:

NHÁNH	TỪ NÚT	ĐẾN NÚT	GIỚI HẠN CÔNG SUẤT (MW)	ĐIỆN TRỞ (R)	ĐIỆN KHÁNG (X)	DUNG DẪN (B)
1	1	2	140	0.005	0.05	0.50
2	1	3	120	0.02	0.24	0.05
3	2	3	100	0.015	0.18	0.04
4	2	4	100	0.015	0.18	0.04
5	2	5	120	0.01	0.12	0.03
6	2	6	200	0.005	0.06	0.05
7	3	4	200	0.0025	0.03	0.02
8	4	5	60	0.02	0.24	0.05
9	5	7	200	0.005	0.06	0.04
10	6	7	400	0.02	0.24	0.05

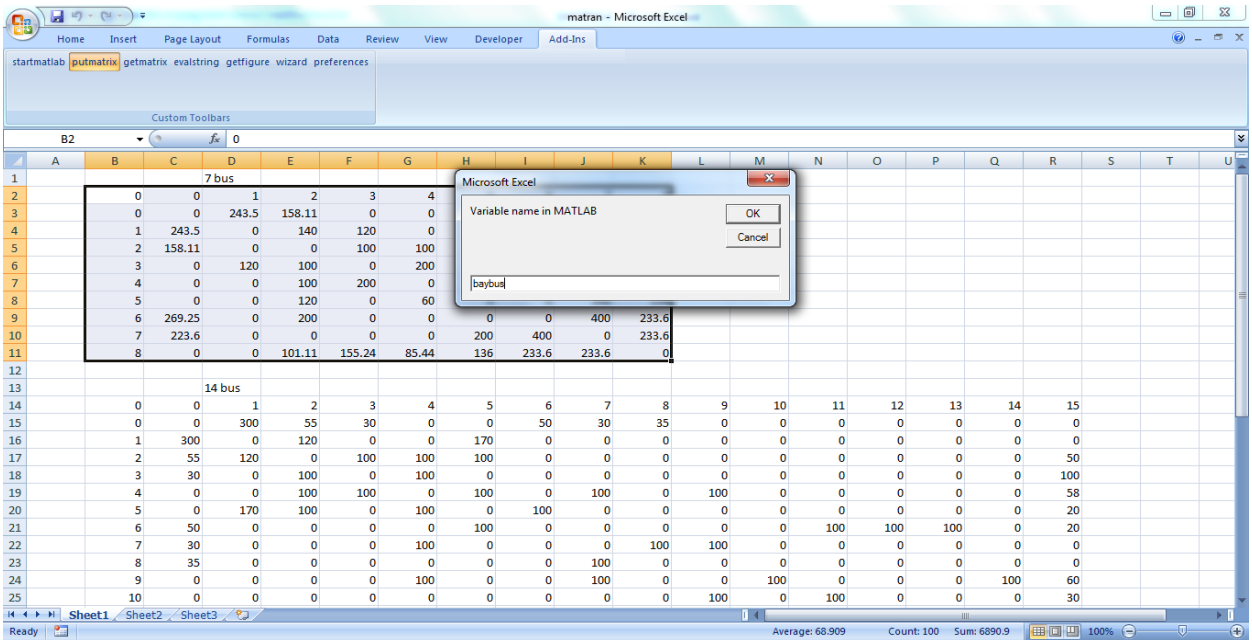
❖ ***Vấn đề đặt ra:***

- Sử dụng chương trình Maxflow - Mincut để tìm các nhánh xung yếu của mạng điện 7 bus?
- Kiểm tra xem khi hệ thống điện 7 bus hoạt động 100% công suất thì có bị quá tải đường dây không? Cách khắc phục tối ưu nhất?

- Tăng tải lần lượt lên 20% của từng bus và toàn hệ thống. Kiểm tra sự quá tải của đường dây? Cách khắc phục tối ưu nhất?
- Xác định vị trí đặt TCSC hợp lý nhất, đưa ra thời gian hoàn vốn lắp đặt TCSC?

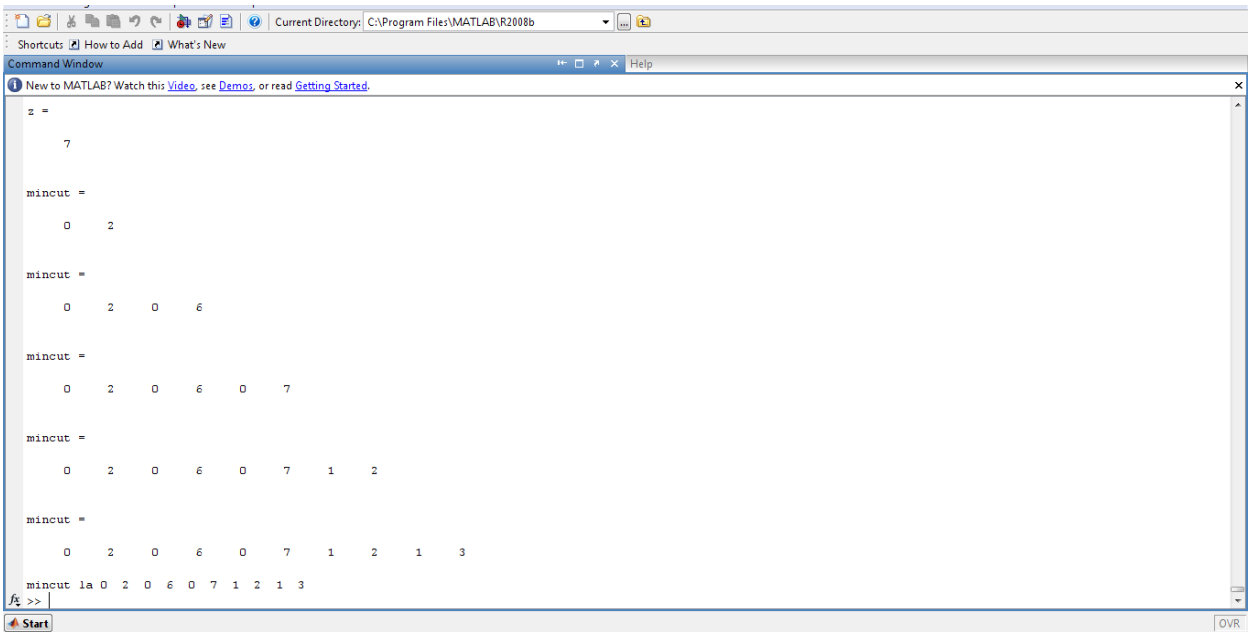
❖ ***Kết quả thực hiện:***

Nhập matran từ Excel



Hình 3.2: Nhập matran cho chương trình từ excel

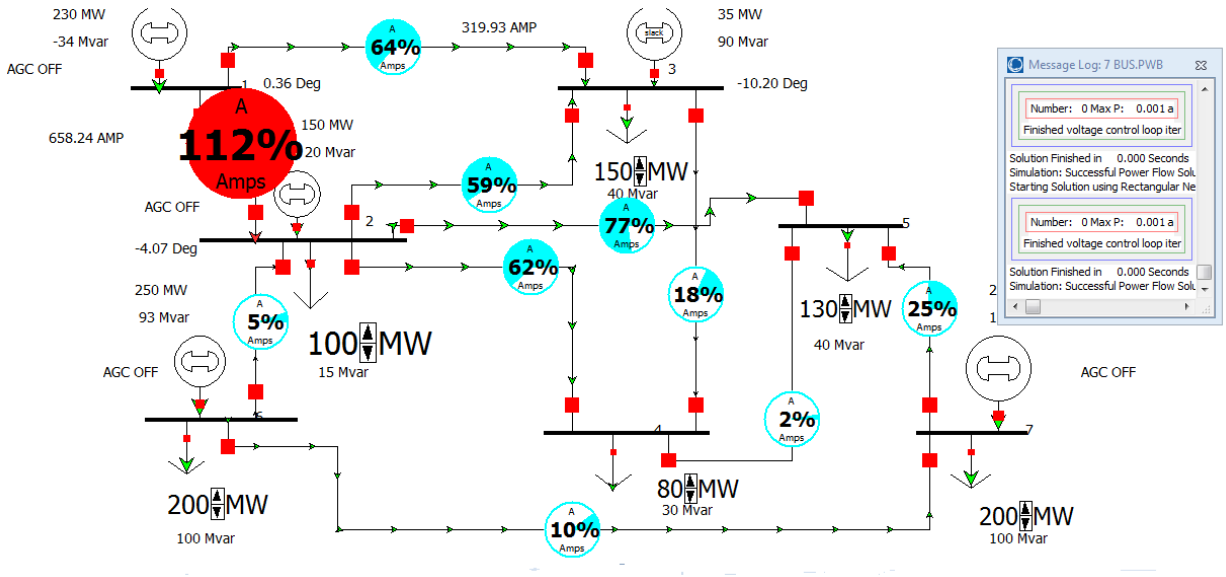
Liên kết Excel với Matlab để chạy chương trình Mincut_Maxflow



Hình 3.3: Kết quả chạy chương trình Mincut_Maxflow.

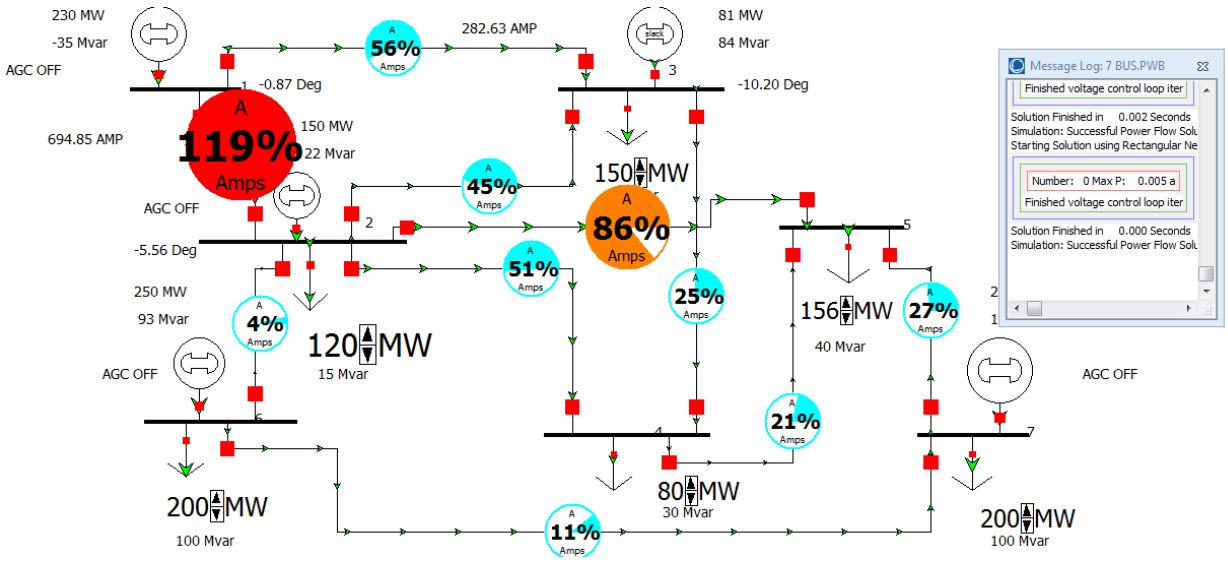
Kết quả chạy chương trình thì tập hợp nhánh xung yếu là: S-2 S-6 S-7 1-2 1-3.

Khi hệ thống điện chạy với tải 100% công suất thì nhánh 1-2 bị quá tải 112%.



Hình 3.4: Kết quả mô phỏng 100% tải.

Sau khi tăng lần lượt tải lên 20% tại bus2 và bus 5 thì nhánh 1-2 bị quá tải 119%.



Hình 3.5: Kết quả mô phỏng sau khi tăng tải.

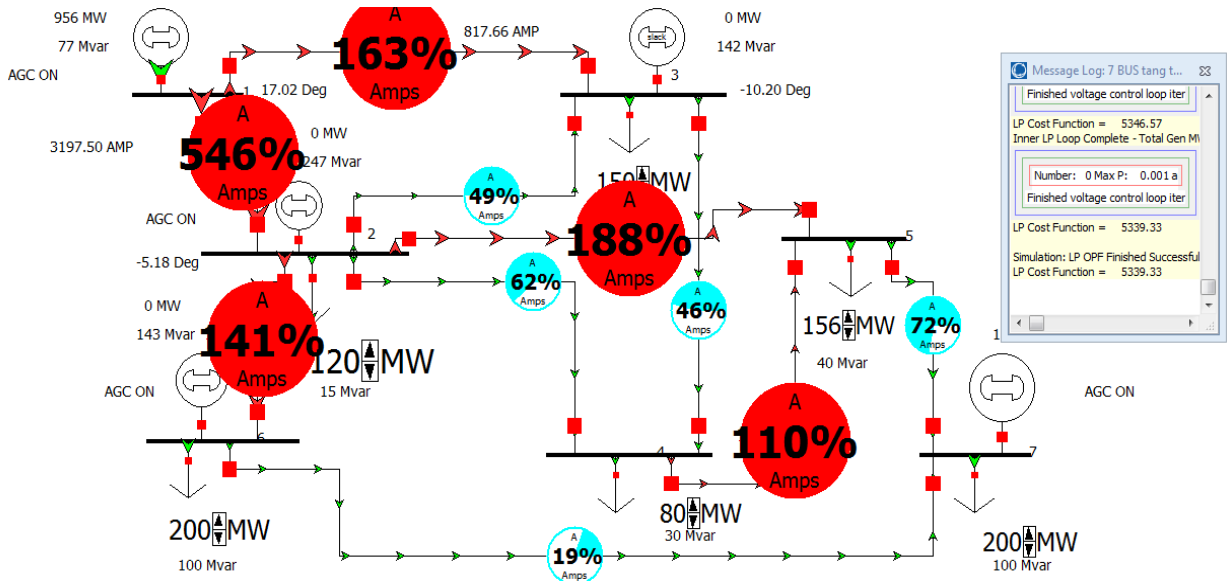
Để khắc phục sự quá tải trên đường dây 1-2 thì có 2 phương pháp được đề ra:

Phương pháp thứ nhất: Điều độ hệ thống máy phát điện trong mạng sao cho vừa đáp ứng được tải vừa không làm quá tải đường dây.

Phương pháp thứ hai: Lắp đặt TCSC vào vị trí tối ưu nhất để khắc phục sự cố quá tải đường dây như trên.

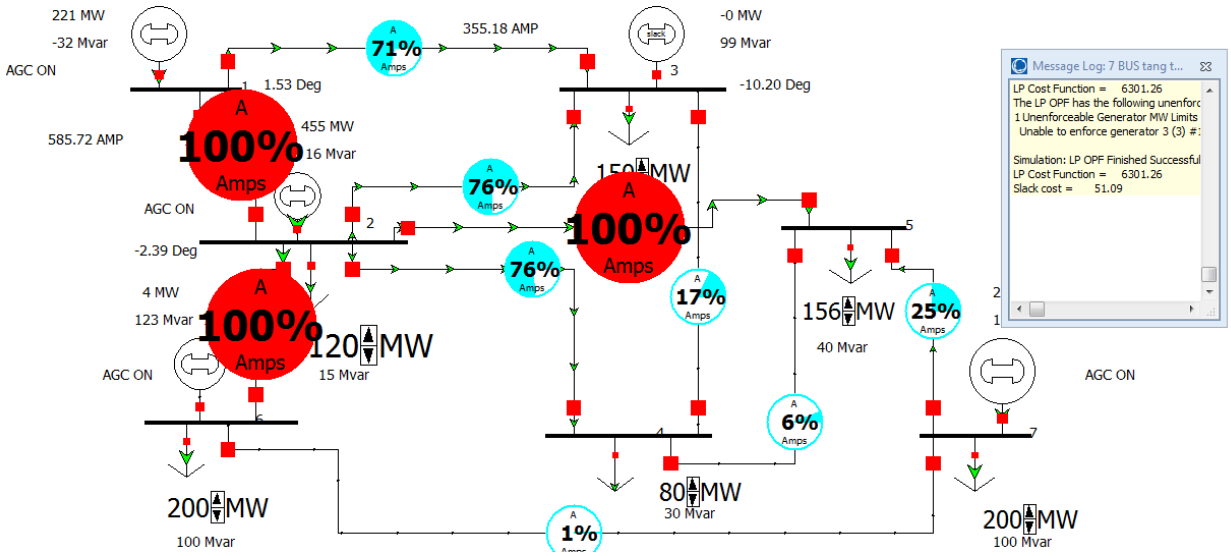
- **Phương pháp thứ nhất:**

Khi ta điều độ hệ thống máy phát trong mạng điện mà không quan tâm đến sự quá tải trên đường truyền thì chi phí điều độ sẽ là 5339.33$/h.



Hình 3.6: Kết quả mô phỏng điều độ máy phát chấp nhận quá tải đường dây.

Khi ta điều độ hệ thống máy phát trong mạng điện mà có quan tâm đến sự quá tải trên đường truyền thì chi phí điều độ sẽ là 6301.26$/h.



Hình 3.7: Kết quả mô phỏng điều độ máy phát không chấp nhận quá tải đường dây.

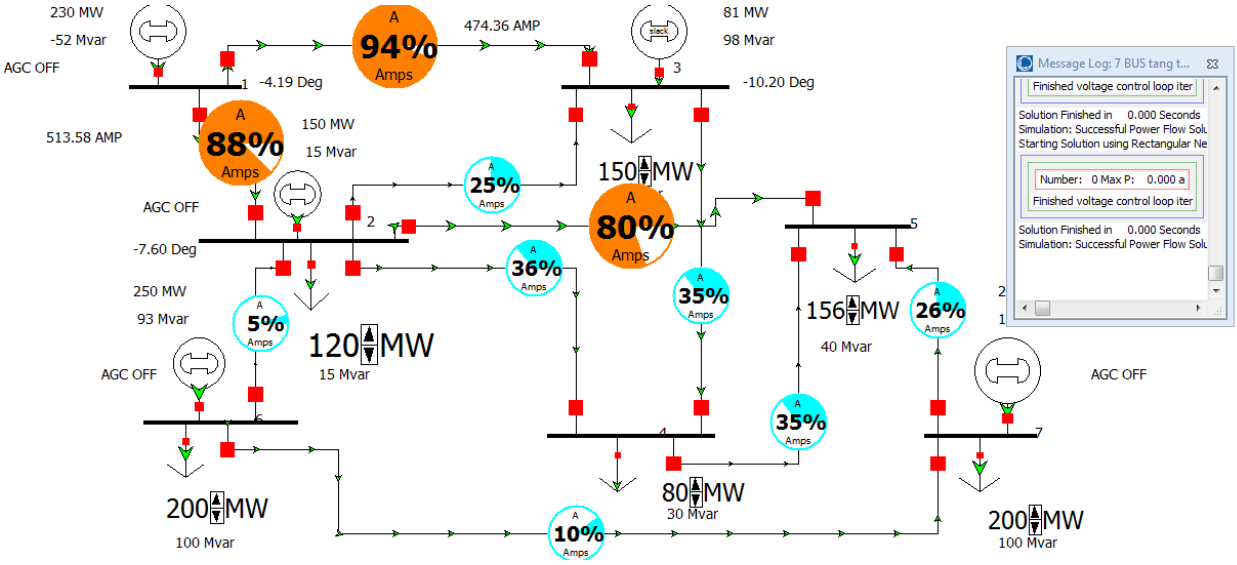
Chênh lệch chi phí giữa điều độ máy phát và đường dây với điều độ máy phát mà không điều độ đường dây là: 6201.26–5339.33 = 861.93$/h.

- **Phương pháp thứ hai:** Đặt TCSC

Theo như công thức tính dung lượng TCSC đã xác định ở chương trước thì ta phải bù một lượnng vào nhánh 1-3 ứng với trường hợp tải tăng 20% tại bus 2 và 5 là:

$$X_{TCSC} = -\frac{694.83X0.19X(0.04 + 0.47j)}{694.83X0.19 + 282.63} = -(0.0127 + 0.1496j)$$

$vậy\ X_{TCSC} = -0.1496$

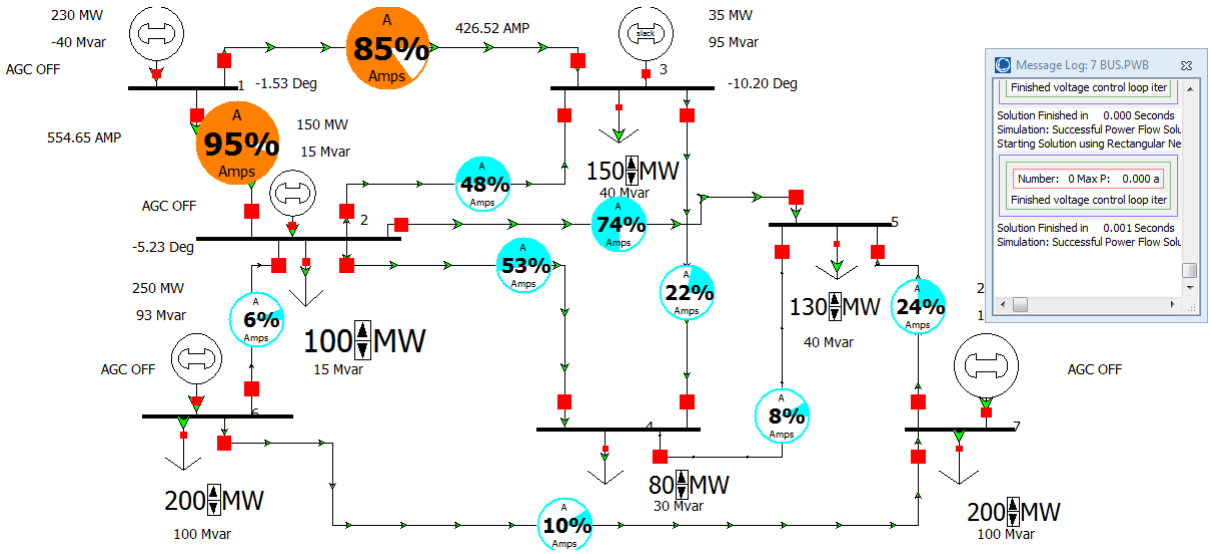


Hình 3.8: Kết quả mô phỏng sau khi đặt TCSC trong trường hợp bị quá tải.

Ứng với trường hợp 100% tải thì ta phải bù vào nhánh 1-3 một lượng là:

$$X_{TCSC} = -\frac{658.24X0.12X(0.04 + 0.47j)}{658.24X0.12 + 319.93} = -(0.008 + 0.093j)$$

$vậy\ X_{TCSC} = -0.093$



Hình 3.9: Kết quả mô phỏng sau khi đặt TCSC trong trường hợp 100% tải.

Vậy $-0.15 \leq X_{TCSC} \leq -0.093$

Tính thời gian thu hồi vốn lắp đặt TCSC:

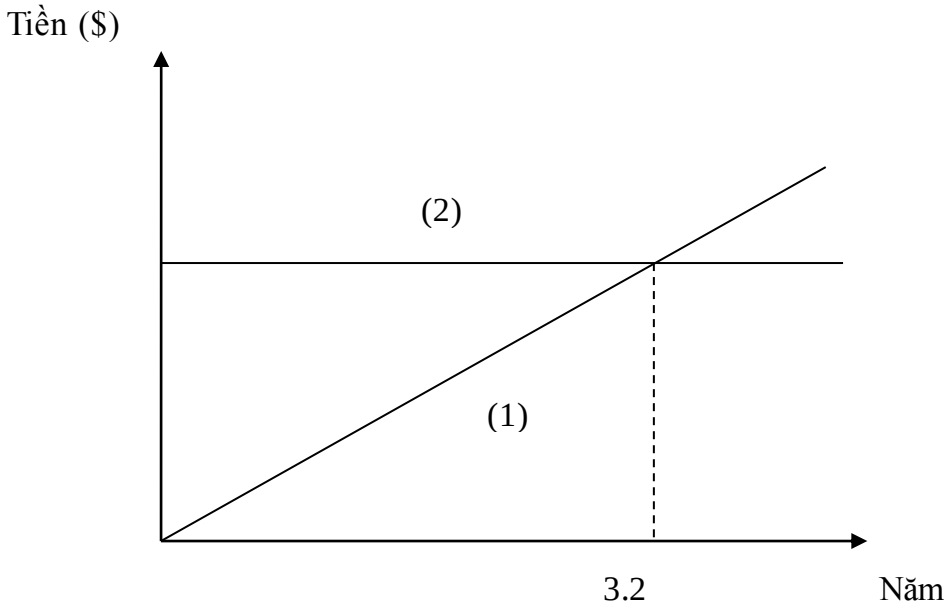
$Q_{TCSC} = 3*I^2_{1\text{-}3}*X_{TCSC} = 3*474.36^2*0.15 = 101257$ Kvar

$C_{TCSC} = 101257*40 = 4050280$ (1 Kvar chi phí 40$) (1)

Giả sử 1 ngày bị quá tải 20% trong 4h thì $C_2 - C_1$ sẽ là:

$C_2 - C_1 = 861{,}93*4*365 = 1258417.8$ $ (2)

Từ (1), (2) ta có điểm hoàn vốn H được xác định như sau:



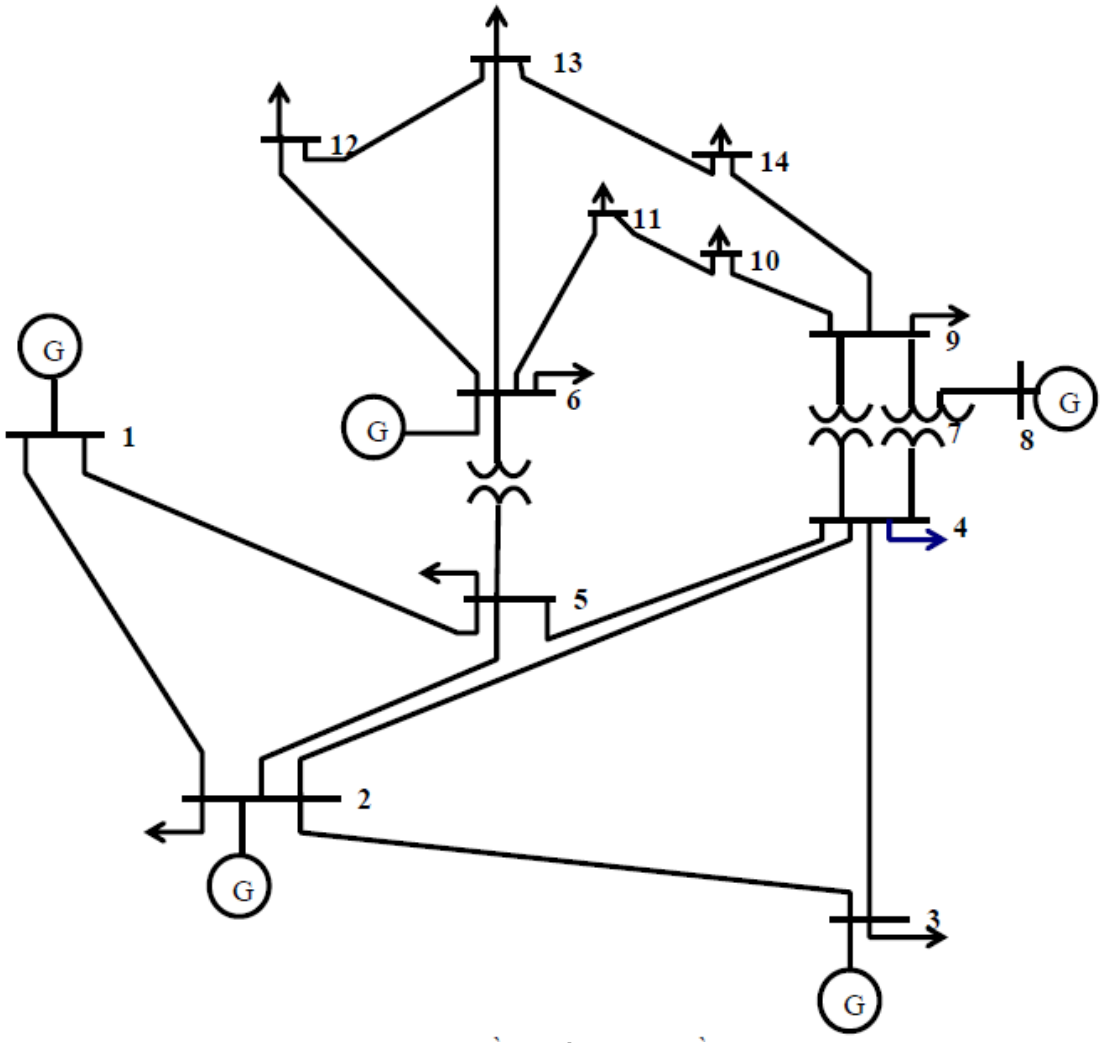
Hình 3.10: Đồ thị thể hiện thời gian thu hoàn vốn lắp đặt TCSC

(1) Đường chi phí khi điều độ máy phát.

(2) Đường chi phí khi lắp đặt TCSC.

Vậy sau khoảng 3.2 năm là thời gian lợi nhuận thu được.

3.2. SƠ ĐỒ LƯỚI ĐIỆN 14 BUS:



Hình 3.11: Sơ đồ lưới 14 bus.

Bảng 3.3: Thông số công suất phát và tiêu thụ của lưới điện 14 nút.

STT	Nút	P_G(MW)	Q_G(MVAR)	P_L(MW)	Q_L(MVAR)
1	1	240	20	0	0
2	2	55	34	50	13
3	3	30	30	70	30
4	4	0	0	48	4
5	5	0	0	50	6
6	6	50	8	20	8

7	7	30	30	0	0
8	8	35	30	0	0
9	9	0	0	30	17
10	10	0	0	30	6
11	11	0	0	30	13
12	12	0	0	35	4
13	13	0	0	30	6
14	14	0	0	30	9

Bảng 3.4: Thông số trên các đường dây truyền tải lưới điện 14 thanh cái.

NHÁNH	**TỪ NÚT**	**ĐẾN NÚT**	**GIỚI HẠN CÔNG SUẤT** (MW)	**ĐIỆN TRỞ** (R)	**ĐIỆN KHÁNG** (X)	**DUNG DẪN** (B)
1	1	2	120	0.01938	0.20917	0.0528
2	1	5	170	0.05403	0.22304	0.0492
3	2	3	100	0.04699	0.19797	0.0438
4	2	4	100	0.05811	0.17632	0.0340
5	2	5	100	0.05695	0.17388	0.0346
6	3	4	100	0.06701	0.17103	0.0128

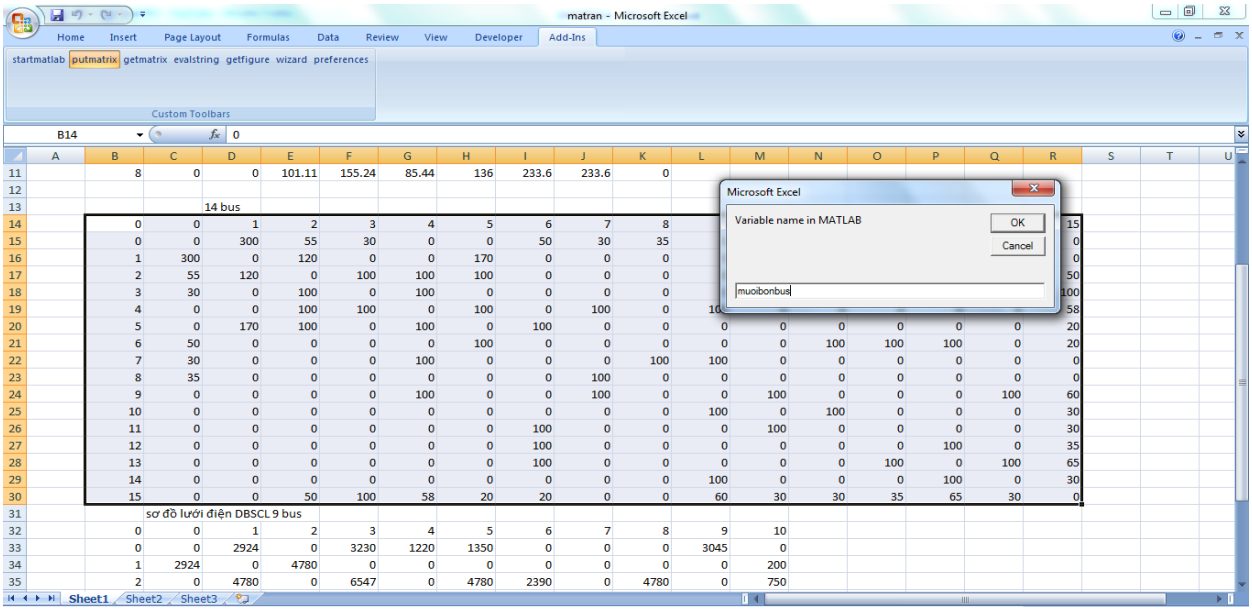
7	4	5	100	0.01335	0.04211	0.0
8	4	7	100	0.00	0.20912	0.0243
9	4	9	100	0.00	0.55618	0.0184
10	5	6	100	0.00	0.25202	0.0463
11	6	11	100	0.09498	0.19890	0.0352
12	6	12	100	0.01291	0.25581	0.0264
13	6	13	100	0.06615	0.13027	0.0472
14	7	8	100	0.00	0.17615	0.0385
15	7	9	100	0.00	0.11001	0.0342
16	9	10	100	0.03181	0.08450	0.0561
17	9	14	100	0.12711	0.27038	0.0352
18	10	11	100	0.08205	0.19207	0.0162
19	12	13	100	0.022092	0.19988	0.0535
20	13	14	100	0.17093	0.34802	0.0441

❖ ***Vấn đề đặt ra:***

- Sử dụng chương trình Maxflow_Mincut để tìm các nhánh xung yếu của mạng điện 14 bus?
- Kiểm tra xem khi hệ thống điện 14 bus hoạt động 100% công suất thì có bị quá tải đường dây không? Cách khắc phục tối ưu nhất?
- Tăng tải lần lượt lên 10% của từng bus và toàn hệ thống. Kiểm tra sự quá tải của đường dây? Cách khắc phục tối ưu nhất?
- Xác định vị trí đặt TCSC hợp lý nhất?
- Đưa ra thời gian hoàn vốn lắp đặt TCSC?

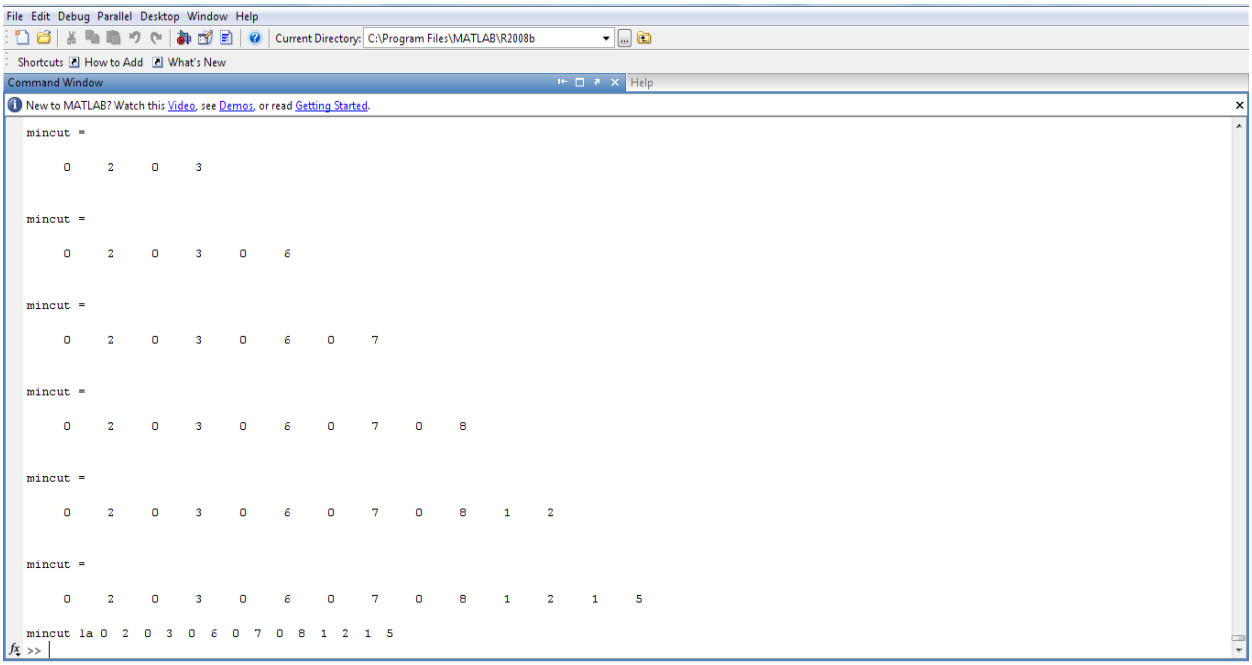
❖ ***Kết quả thực hiện:***

Nhập matran từ Excel



Hình 3.12: Nhập matran cho chương trình từ Excel.

Liên kết giữa Excel và Matlab chạy chương trình Mincut_Maxflow.

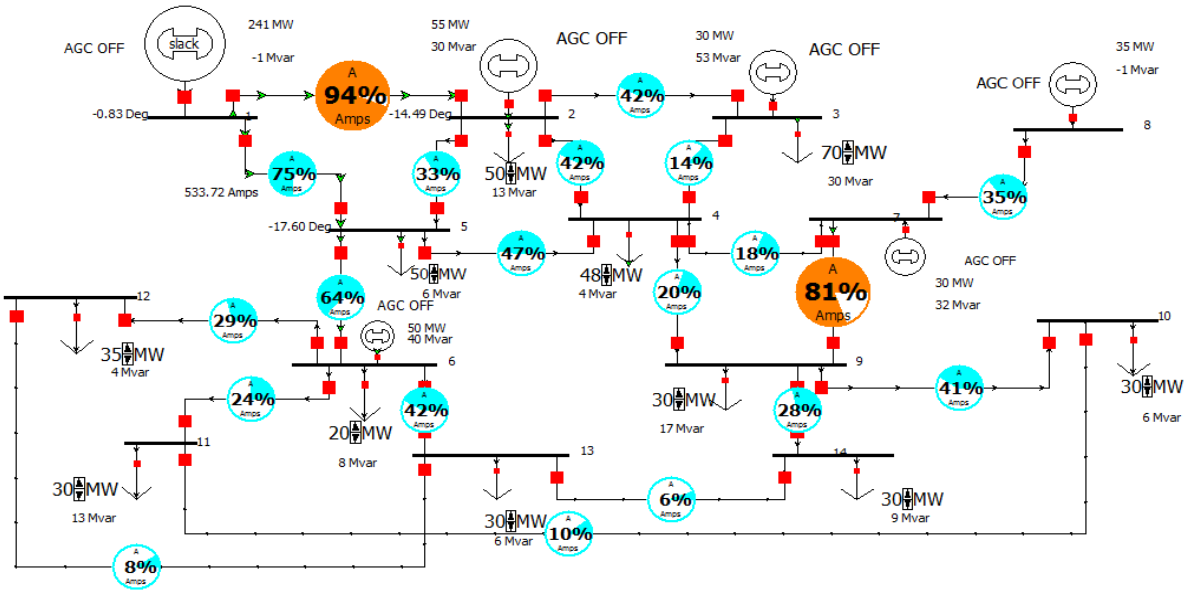


Hình 3.13: Kết quả chạy được từ chương trình Mincut_Maxflow.

Sau khi chạy chương trình kết quả cho tập hợp nhánh xung yếu là:

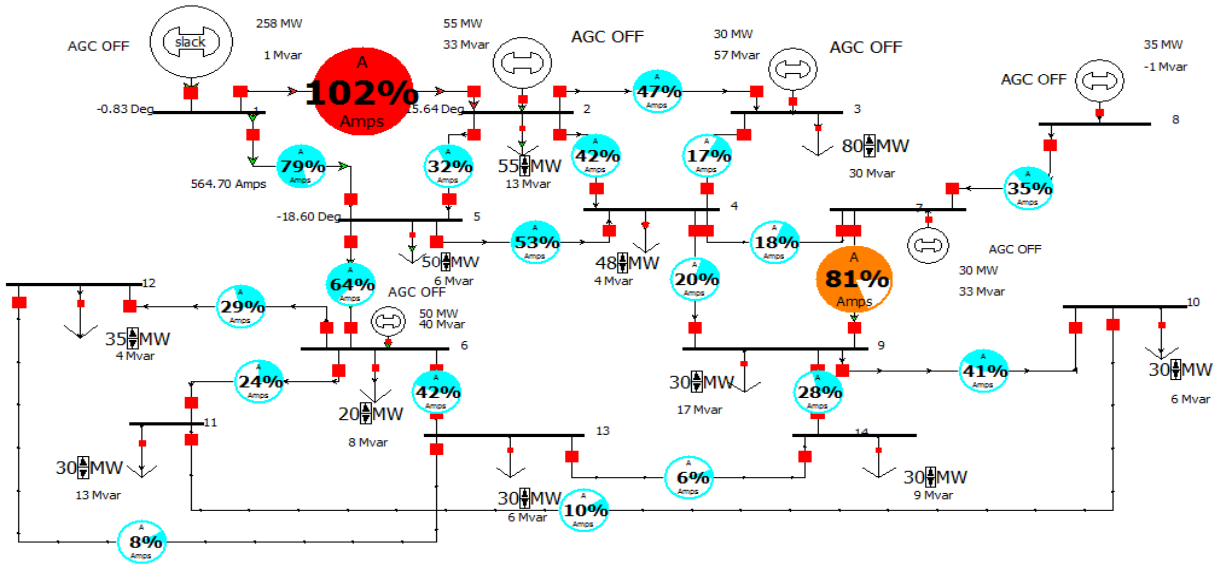
S-2 S-3 S-6 S-7 S-8 1-2 1-5

Kết quả chạy mô phỏng ứng với 100% tải:



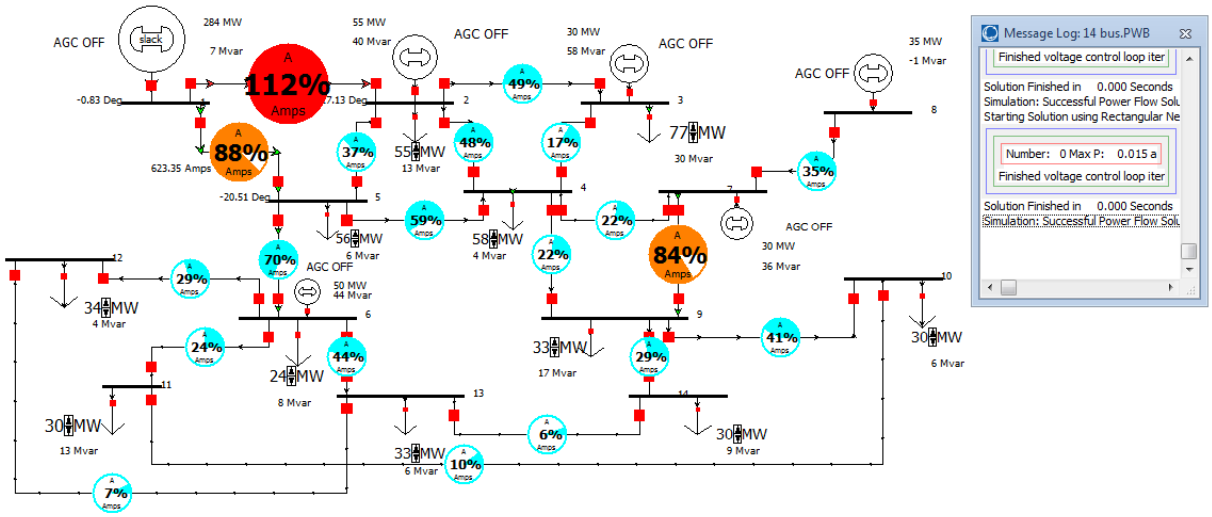
Hình 3.14: Kết quả mô phỏng 100% tải.

Kết quả chạy mô phỏng khi tăng tải tại thanh cái 2, 3 thì đường truyền 1-2 bị quá tải 102% như hình bên dưới:



Hình 3.15: Kết quả mô phỏng khi quá tải.

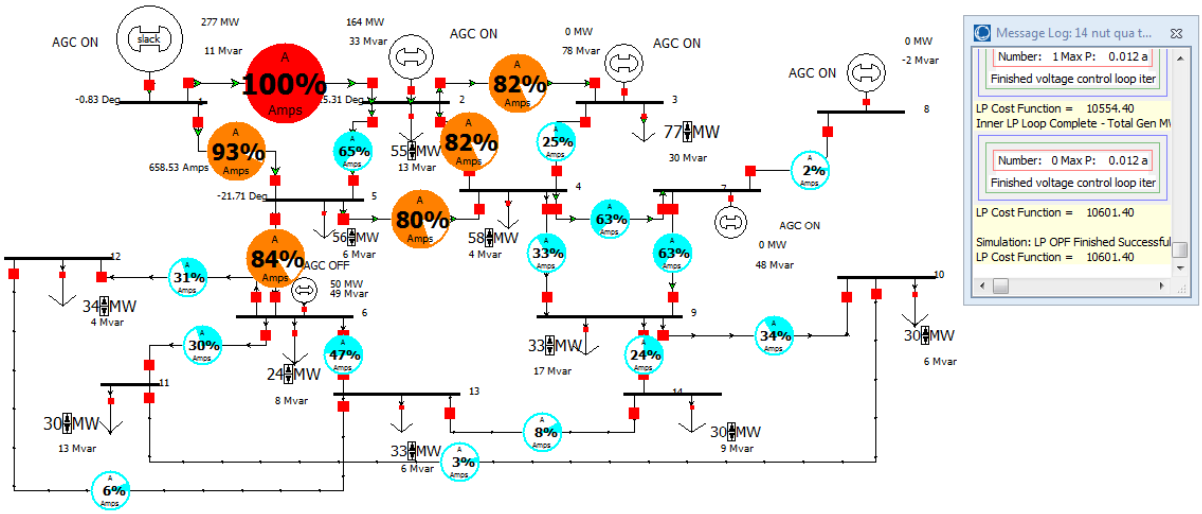
Khi tăng tải tại các thanh cái 2, 3, 4, 5, 6, 9, 13 lên 10% thì đường truyền 1-2 bị quá tải 112% như hình bên dưới.



Hình 3.16: Kết quả mô phỏng khi tăng tải 10%.

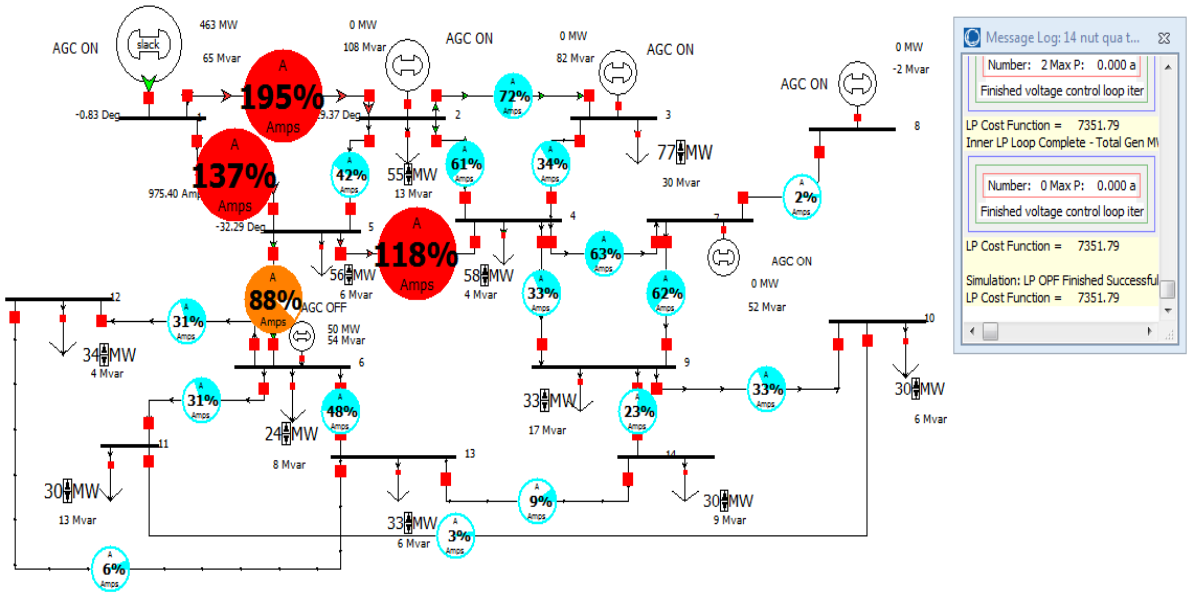
- **Phương án thứ nhất:** điều độ máy phát.

Điều độ máy phát có sự quan tâm đến quá tải trên đường truyền thì ta phải chi phí là 10601$/h.



Hình 3.17: Kết quả mô phỏng khi điều độ máy phát sao cho đường dây không bị quá tải.

Nếu điều độ máy phát mà chỉ quan tâm đến chi phí sao cho nhỏ nhất thì chi phí là 7351$/h.



Hình 3.18: Kết quả mô phỏng khi điều độ máy phát sao cho chi phí bé nhất.

Chênh lệch chi phí giữa 2 phương án điều độ trên là:

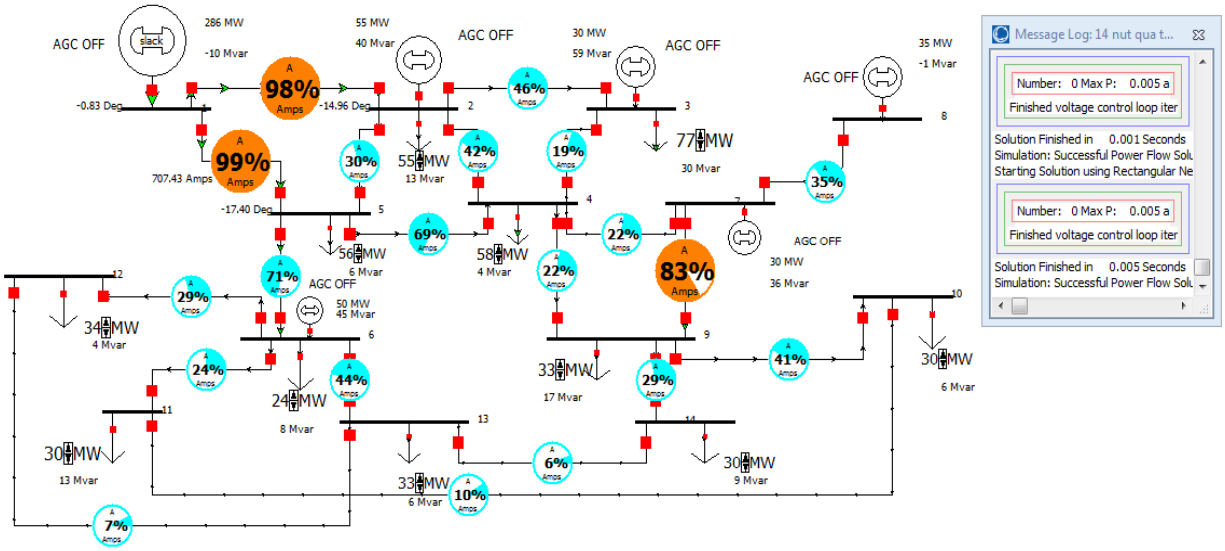
10601 – 7351 = 3250 $/h.

- **Phương án thứ hai:** dùng TCSC đặt tại đường dây 1-2 hoặc 1-5

Dung lượng TCSC cần bù là:

$$X_{TCSC} = -\frac{564.38X0.12X(0.13036 + 0.60297j)}{564.38X0.12 + 623.35} = -(0.01277 + 0.16j)$$

Vậy X_{TCSC} = -0.16



Hình 3.19: Kết quả mô phỏng sau khi lắp đặt TCSC.

Tính thời gian thu hồi vốn lắp đặt TCSC:

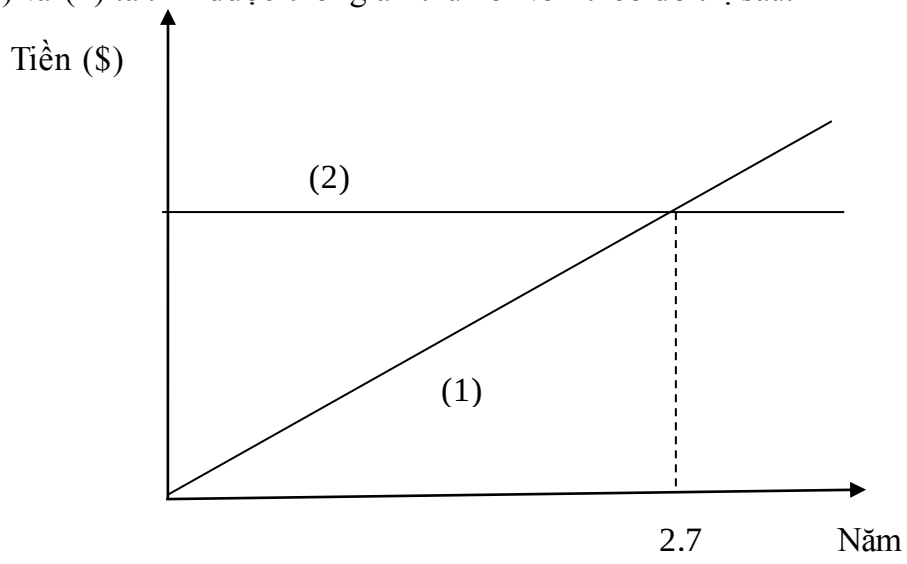
$Q_{TCSC} = 3*I^2_{1-5}*X_{TCSC} = 3*707^2*0.16 = 239927$ Kvar.

$C_{TCSC} = 239927*40 = 9597080$ \$ (1)

Giả xử một ngày bị quá tải 3h thì $C_2 - C_1$ là:

3*365*3250 = 3558750 \$ (2)

Từ (1) và (2) ta tính được thời gian thu hồi vốn theo đồ thị sau:



Hình 3.20: Đồ thị thể hiện thời gian thu hoàn vốn lắp đặt TCSC.

(1) Đường chi phí khi điều độ máy phát.

(2) Đường chi phí khi lắp đặt TCSC.

Từ (1) và (2), thời gian thu hồi vốn là khoảng 2.7 năm.

CHƯƠNG 4

KẾT LUẬN

4.1. KẾT LUẬN:

Luận văn đã đưa ra phương pháp xác định vị trí hợp lý của TCSC để chống nghẽn mạch bằng phương pháp mặt cắt tối thiểu của Ford – Fulkerson để tìm tập hợp các nhánh có khả năng xuất hiện sự cố quá tải trong hệ thống điện, mục đích của việc này là giảm không gian tìm kiếm dữ liệu ban đầu, giúp quá trình tìm kiếm và xử lý nhanh hơn để nâng cao khả năng truyền tải từ đó giảm được chi phí sản xuất điện. Đồng thời xác định được dung lượng TCSC bằng biểu thức toán học.

❖ **Những kết quả đã đạt được trong luận văn:**

- Xây dựng được hàm mục tiêu là một hàm lợi nhuận từ hàm mục tiêu này đi đến giải quyết bài toán chống quá tải và vận hành hệ thống điện.
- Sử dụng phần mềm Powerworld và giải thuật Max-flow và Min-cut để chạy chương trình mô phỏng phân bố công suất và xác định vị trí lắp đặt TCSC chống quá tải trên lưới điện.
- Xây dựng cách xác định dung lượng TCSC bằng biểu thức toán học.
- Tính toán được dung lượng TCSC cần bù cho nhánh cứu nhánh quá tải
- Mô phỏng trên hệ thống lưới điện mẫu 7 nút, 14 nút kết hợp với chương trình phần mềm uy tín trong lĩnh vực mô phỏng hệ thống điện.
- Giải thuật sử dụng có tính khoa học và ứng dụng cao trong nghiên cứu vận hành hệ thống điện.
- Ngoài ra nội dung luận văn cũng đã đề cập và làm nổi bật vai trò của các thiết bị FACTS đặc biệt là TCSC trong việc điều khiển hệ thống điện trong thị trường điện cạnh tranh.
- Khảo sát xác định vị trí của TCSC trên lưới điện với điều kiện gia tăng phụ tải trong tương lai.

- Nội dung nghiên cứu cũng chỉ ra rằng tại vị trí xung yếu nhất của HTĐ, nơi đặt TCSC có thể gia tăng khả năng truyền tải và chống quá tải trên đường dây để giảm chi phí sản xuất điện năng trong HTĐ, điều này đồng nghĩa với việc giảm giá bán điện trên thị trường.

- Trong luận văn này cũng đã tính được chi phí mua TCSC và thời gian tích lũy để hoàn vốn thu được lợi nhuận cao từ đó đưa ra kết quả, nhận xét về vị trí lắp đặt của TCSC trên lưới điện truyền tải đảm bảo tính kinh tế cũng như kỹ thuật.

4.2. HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI:

- Mặc dù đã có nhiều cố gắng cùng với sự giúp đỡ của quý thầy cô cùng bạn bè, nhưng do điều kiện thời gian nghiên cứu không cho phép nên nội dung đề tài nghiên cứu chưa khảo sát được trên lưới điện có nhiều nút hơn.

- Tiếp tục nghiên cứu Max-flow và Min–cut để ứng dụng trong điều khiển tối ưu hệ thống điện.

- Mở rộng phạm vi nghiên cứu và ứng dụng hai chương Max-Flow và Powerword để tính toán thiết bị bù trên nhiều nhánh cùng lúc, phát triển trên diện rộng của lưới điện để tìm kiếm giải pháp mở rộng phụ tải điện cho lưới điện truyền tải hiện hữu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Hoàng Sơn, "Xác Định Vị Trí Của UPFC Trên Lưới Điện Truyền Tải", luận văn thạc sĩ-Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.Hồ Chí Minh, 2008.

[2]. Lê Hữu Hùng, Công ty Truyền tải Điện 2 – EVN, Đinh Thành Việt, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, "Nghiên cứu ảnh hưởng của tụ bù dọc 500KV đến ổn định điện áp của hệ thống điện Việt Nam và giải pháp ứng dụng TCSC để nâng cao hiệu quả vận hành".

[3]. Sidhartha Panda and Narayana Prasad Padhy, "Matlab/simulink Based Model of Single-Machine Infinite-Bus With TCSC for Stability Studies and Tuning Employing GA", International Journal of Computer Science And Engineering 1;1 © www.waset.org winter 2007.

[4]. K. Vijayakumar and R.P. Kumudinidevi, "A Hybird Genetic Algorithm for Optimal Power Flow Incorporating FACTS Devices", Asian Juournal of Scientific Research 1 (4): 403-411, 2008 ISSN 1992-1454 © 2008 Asian Network for Scientific Information.

[5]. Sidhartha Panda, R.N.Patel, N.P.Padhy, "Power System Stability Improvement by TCSC Controller Employing a Multi-Objective Genetic Algorithm Approach", International Journal of Intelligent Systems and Technologies 1;4 © www.waset.org fall 2006.

[6]. Ashok Kumar Mehta, Dipak Ray, Bhattacharya, "Application of Reliability Analysis on Expansion of Transmission System", International Journal of Recent Trends in Engineering, vol. 1, no. 2, may 2009.

[7]. H. Shayeghi, M. Mahdavi, H. Haddadian, "DCGA Based-Transmission Network Expansion Planning Considering Network Adequacy", International Journal of Information Technology 4;4 © www.waset.org fall 2008.

[8]. L.R.Ford and D.R.Fulkerson, "Maximal Flows Through a Network", Can.J.Math.8, 399-404, 1956.

[9]. A. Arunya Revathi, N.S. Marimuthu, P.S. Kannan and V. Suresh Kumar "Optimal Active Power Flow with Facts Devices Using Efficient Genetic Algorithm" Department of EEE, A.C College of Engineering and Technology, Karaikudi-04, India (N.T). Department of EEE, Govemment College of Engineering, Tirunelveli, India (N.T). Department of EEE, ThiagarajaCollege of Engineering, Madurai-15, India (N.T); International Journal of Electrical and Power Engineering 2 (1): 55-63, 2008.

[10]. S. Sutha, and N. Kamaraj "Optimal Location of Multi Type Facts Devices for Multiple Contingencies Using Particle Swarm Optimization"; International Journal of Electrical Systems Science and Engineering 1;1 © www.waset.org winter 2008.

[11]. Sidhartha Panda, N.P.Padhy, R.N.Patel, "Genetically Optimized TCSC Controller for Transient Stability Imporvement", International Journal of Computer, Information, and Systerms Science, and Engineering 1;1 © www.waset.org winter 2007.

[12]. Mechthild Stoer and Frank Wagner, A Simple Min-Cut Algerithm, Journal of The ACM, vol.44, No. 4, pp.585-591. July 1997.

[13]. Seyed Abbas Taher, Hadi Bsharat, "Transmission Congestion Management by Determining Optimal Location of FACTS Devices in Deregulated Power Systems"; Department of Electrical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran; American Journal of Applied Sciences 5 (3): 242-247,2008.

[14]. Hadi Saadat, "Power System Analysis", mcGRAW-hill International Editions 1999.

[15]. Garng Huang and Tong Zhu, "TCSC as a Transient Voltage Stabilizing Controller", Department of Electrical Engineering Texas A&MUniversityCollege Station, TX 77840, USA, 2001.

[16]. R. Benabid Nuclear Center Research of Birine B.P. 180, 17200, Djelfa Algeria and M. Boudour, Deparment of Electrical Engineering University of Sciences & Technology Houari Boumediene El Alia , BP.32, Bab Ezzouar, 16111, Algiers, "Optimal Location and Size of SVC and TCSC for Multi-Objective Static Voltage Stability Enhancement".

[17]. M.A. Khaburi, M.R. Haghifam. A Probabilistic Modeling Based Approach for Total Transfer Capability Enhancement Using FACTS Devices. Electrical Power and Energy Systems xxx (2009) xxx–xxx.

[18]. Alberto D. Del Rosso, Member, IEEE, Claudio a. Canizares, Senior Member, IEEE and Victor M.Dona, "A Study of TCSC Contrller Design for Power System Stanility Improvement".

[19]. Dr. Nadarajah Mithulananthan, MR. Arthit Sode-yome and Mr. Naresh Acharya School of Enviroment, "Application of FACTS Controllers in thailAnd Power Systems", Resources and Development Asia Institute of Technology Pathumthani, Thailand, january 2005.

[20]. N-G-Hingorani, L.Gyugyi "Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission systems", IEEE Press, 2000.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

www.hcmute.edu.vn