

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CẤP ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**MÔ PHỎNG LƯỚI ĐIỆN PHỨC TẠP BẰNG PHƯƠNG PHÁP MỚI
“FRACTAL” XÉT ỨNG DỤNG TRUYỀN TIN TRÊN ĐƯỜNG DÂY TẢI
ĐIỆN**

Mã số: Đ2015-02-127

Chủ nhiệm đề tài: TS. LÊ THỊ TỊNH MINH

Đà Nẵng, 12/2016

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CẤP ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

MÔ PHỎNG LƯỚI ĐIỆN PHỨC TẠP BẰNG PHƯƠNG PHÁP MỚI
“FRACTAL” XÉT ỨNG DỤNG TRUYỀN TIN TRÊN ĐƯỜNG DÂY TẢI
ĐIỆN

Mã số: Đ2015-02-127

Xác nhận của cơ quan chủ trì đề tài
(ký, họ và tên, đóng dấu)

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

Đà Nẵng, 12/216

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI

Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn	Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao
Lê Thị Tịnh Minh	Bộ môn Hệ Thống Điện, Khoa Điện, trường Đại Học Bách Khoa, Đại Học Đà Nẵng.	Chủ trì đề tài
Lê Quốc Huy	Bộ môn Tự Động Hóa, Khoa Điện, trường Đại Học Bách Khoa, Đại Học Đà Nẵng	Thư ký, kế toán đề tài
Trịnh Trung Hiếu	Bộ môn Hệ Thống Điện, Khoa Điện, trường Đại Học Bách Khoa, Đại Học Đà Nẵng	Thành viên

MỤC LỤC

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO	1
DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI	3
MỤC LỤC	4
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ	5
DANH MỤC BẢNG BIỂU	5
MỞ ĐẦU	8
CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ LƯỚI ĐIỆN NGÀY NAY	10
I.1. Lưới điện ngày nay_ Smart Grid	10
I.2. Mô hình hóa lưới điện truyền thống	10
I.3. Mô hình hóa lưới điện phức tạp	10
I.3.1. Lý thuyết Graph	10
I.3.2. Lý thuyết Fractal_dựa trên tính bất biến của hệ thống	10
a) Định nghĩa	10
b) Mô tả toán học	10
I.4. Các loại hệ số bất biến của mô hình Fractal	11
I.4.1. Tham số fractale dimension	11
I.4.2. Tham số spectrale dimension	11
I.4.3. Tham số chuyển động hỗn độn dw	11
I.4.4. Mối quan hệ giữa các tham số hình học fractal dimension, tham số spectrale dimension và tham số chuyển động hỗn độn :	11
I.4.5. Phương pháp tính toán hệ số dimension spectrale	11
CHƯƠNG II. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH FRACTAL ĐỂ MÔ HÌNH HÓA LƯỚI ĐIỆN.	11
II.1. Giới thiệu về lưới điện áp dụng IEEE 118 nút	11
II.2. Kết quả tính chất bất biến của lưới điện - Hệ số dimension spectral	11
II.3. Mô hình đáp ứng tần số của lưới điện	12
II.3.1. Mô hình « hộp đen »	12
II.3.2. Mô hình đề xuất theo phương pháp fractal	13
II.4. Kết luận	15
CHƯƠNG III. TỔNG QUAN VỀ LÝ THUYẾT TRUYỀN TÍN HIỆU	15
III.1. Lý thuyết truyền tin	15
III.1.1. Phương trình truyền sóng	15
III.1.2. Những định nghĩa khác	15
III.2. Mô hình truyền sóng của mạch điện thích nghi theo tần số	15
III.2.1. Cấu trúc mô hình tần số của một sóng truyền tin	15
III.3. Áp dụng mô phỏng mô hình với Matlab	17
III.3.1. Các bước tiến hành	17
III.3.2. Áp dụng truyền tín hiệu 1 kênh truyền trên dây cáp 1 pha	17
III.3.3. Áp dụng truyền tín hiệu nhiều kênh truyền trên dây cáp 1 pha	19
III.3.4. Nhận xét kết quả	19
CHƯƠNG IV. Áp dụng mô hình “Fractal” trong lĩnh vực truyền tin trên đường dây tải điện	19
IV.1. Tính chất đồng dạng của dây dẫn truyền tải	19
IV.2. Xây dựng mô hình tổng trở vào của đường dây truyền tải	21
IV.2.1. Các bước tính toán tham số cần thiết cho mô hình Fractal	21

IV.2.2.	Kết quả mô phỏng mô hình fractal	21
IV.2.3.	So sánh mô hình của hai phương pháp cổ điển và fractal trong trường hợp cụ thể :	21
IV.3.	Kết luận	21
	KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	22
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	22

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình II-1.	Cấu hình mạng IEEE 118 nút.....	12
Hình II-2.	Dimension spectrale của lưới điện IEEE 118 nút.....	12
Hình II-3.	Phân bố điểm cực poles ban đầu và điểm cực poles được nội suy của lưới điện IEEE 118 nút.....	13
Hình II-4.	Đáp ứng tần số nội suy tương ứng với 70 điểm cực pôles ban đầu của lưới điện IEEE 118 nút.....	13
Hình II-5.	Phần các đỉnh dao động của lưới điện IEEE 118 nút.....	14
Hình II-6.	Phân bố các điểm cực pole ban đầu và điểm cực nội suy bởi phương pháp « vector fitting » của lưới điện IEEE 118 nút.....	14
Hình II-7.	Kết quả nội suy mô hình dao động bằng phương pháp « vector fitting » của lưới điện IEEE 118 nút.....	15
Hình II-8.	Kết quả nội suy đáp ứng tần số toàn phần của lưới điện IEEE 118 nút.....	15
Hình III-1.	Sơ đồ mô phỏng cho tín hiệu 1 kênh truyền trên dây cáp 1 pha.....	17
Hình III-2.	Sai số và So sánh mô hình nội suy và kết quả mô phỏng trên EMTP/ATP	17
Hình III-4.	Sơ đồ mô phỏng cho trường hợp tải giữa 2 dây pha của mạch điện thích nghi.....	18
Hình III-3.	So sánh giữa mô hình và kết quả mô phỏng.....	18
Hình III-5.	Kết quả so sánh nội suy độ suy giảm biên độ điện áp.....	18
Hình III-6.	Mô hình EMTP của lưới nghiên cứu.....	19
Hình III-7.	So sánh kết quả nội suy hàm truyền tín hiệu.....	19
Hình IV-1.	Mô hình cấu trúc tương tự của dây dẫn truyền tải.....	20
Hình IV-2.	Sơ đồ mạch điện đơn giản khi xét ở tần số thấp.....	20
Hình IV-3.	Kết quả mô phỏng của 2 mô hình tổng trở đầu vào khi n=5.....	21
Hình IV-4.	Kết quả mô phỏng của 2 mô hình tổng trở đầu vào khi n=50.....	21

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.	So sánh kết quả của hai phương pháp trong trường hợp A=B=1	19
---------	--	----

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Mô phỏng lưới điện phức tạp bằng phương pháp mới « Fractal » xét ứng dụng truyền tin trên đường dây tải điện
- Mã số: DD2015-02-127
- Chủ nhiệm: Lê Thị Tịnh Minh
- Thành viên tham gia: Lê Quốc Huy, Trịnh Trung Hiếu
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Bách Khoa- Đại học Đà Nẵng
- Thời gian thực hiện: 1 tháng 10 năm 2015 đến ngày 30 tháng 9 năm 2016 và thêm 6 tháng xin gia hạn

2. Mục tiêu:

- Giới thiệu phương pháp mới “Fractal”
- Xây dựng mô hình lưới điện phức tạp bằng phương pháp mới này.
- Nghiên cứu xây dựng mô hình truyền tin trên đường dây tải điện.

3. Tính mới và sáng tạo: nghiên cứu áp dụng một phương pháp toán học mới “Fractal” trong lĩnh vực điện.

4. Tóm tắt kết quả nghiên cứu:

- Đề tài đưa ra được các hạn chế về mặt mô hình hóa truyền tin trên đường dây tải điện cũng như các mô hình về lưới điện hiện nay.
- Đề tài giới thiệu phương pháp toán học “Fractal” thường dùng để mô hình hóa các hệ thống phức tạp.
- Đề tài đã đưa ra các cơ sở và lý do chọn phương pháp toán học này để mô hình hóa lưới điện phức tạp ngày nay
- Đề tài cũng đã thể hiện kết quả nghiên cứu khả thi bao gồm mô hình hóa lưới điện và cả mô hình hóa truyền tin trên đường dây tải điện bằng phương pháp này

5. Tên sản phẩm: 1 bài báo SCIE và 1 bài báo thuộc viện Khoa học và công nghệ Việt Nam.

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng: Thuyết minh đề tài dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên về lĩnh vực mô hình hóa lưới điện phức tạp.

7. Hình ảnh, sơ đồ minh họa chính

Cơ quan Chủ trì
(ký, họ và tên, đóng dấu)

Ngày tháng năm
Chủ nhiệm đề tài

Lê Thị Tịnh Minh

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Modeling complex networks based on a new Fractal method, application on Power line communication system.

Code number: DD2015-02-127

Project Leader: Lê Thị Tịnh Minh

Coordinator: Lê Quốc Huy, Trịnh Trung Hiếu

Implementing institution: The University of Danang, University of Science and Technology (DUT)

Duration: from 1/10/2015 to 30/9/2016

2. Objective(s):

- Introduce a new method of calculation: “Fractal” method
- Build a dynamic modeling for Smart Grid based on this new method
- Build another modeling for Power line communication based on this method.

3. Creativeness and innovativeness: using a new method Fractal in electrical domain

4. Research results:

- Giving the disadvantages of Power line communication modeling and Smart Grid modeling nowadays.
- Introducing a new method of calculation: “Fractal” method using for modeling complex systems.
- Giving reasons and proofs of choosing this method for modeling Smart Grid
- Giving results in Smart Grid modeling and Power line communication modeling based on this new method.

5. Products: 1 paper in SCIE and 1 paper in Vietnam Academy of Science and Technology

6. Effects, transfer alternatives of research results and applicability: This thesis is used as a reference of modeling a smart grid.

MỞ ĐẦU

TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU THUỘC LĨNH VỰC CỦA ĐỀ TÀI Ở TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC

- Ngoài nước

Ngày nay, lưới điện nói chung và Smart Grid nói riêng ngày càng mở rộng về mặt quy mô và ...phức tạp về mặt tính chất. Để giải quyết vấn đề kích thước không ngừng được mở rộng, các phương pháp truyền thống đề xuất tách riêng lưới điện thành 2 phần: phần lưới điện nghiên cứu và phần lưới điện bên ngoài. Phần lưới điện nghiên cứu chứa các hiện tượng quá độ cần nghiên cứu và được mô tả chi tiết bằng các phương trình động, trong khi đó phần lưới điện bên ngoài được mô hình hóa bằng mô hình động tương đương (dynamic equivalent) [26], [27]. Mô hình động tương đương này có thể được chia thành 3 loại tùy theo mục đích nghiên cứu: mô hình tương đương tần số cao, mô hình tương đương tần số thấp và mô hình tương đương dải rộng.

Để giảm kích thước của mô hình tương đương có thể dùng phương pháp kết hợp (tập hợp các phần tử cùng tính chất và dùng mô hình đơn giản hóa của chúng) hoặc phương pháp đồng nhất (đồng nhất đáp ứng động của lưới bên ngoài bằng các mô tả toán học đơn giản hơn). Các phương pháp này đều dựa trên mối quan hệ giữa đầu ra và đầu vào theo kiểu hộp đen (black box). Nhược điểm duy nhất của phương pháp này chính là mất đi các ý nghĩa vật lý thông qua các tương tác của các phần tử bên trong lưới điện bên ngoài.

Đề tài giới thiệu một phương pháp mới hỗ trợ cho công cụ mô hình hóa tương đương của lưới điện bên ngoài mà vẫn giữ nguyên được các tính chất vật lý trong đó. Phương pháp này có tên là “Fractal” do chính Benoit Manderboit (1924-2010) tìm ra, phương pháp này dựa vào tính chất đồng dạng ở các cấp độ cấu trúc khác nhau và tính chất được lặp lại theo một quy luật nhất định để xây dựng nên một cấu trúc phức tạp. Khả năng ứng dụng phương pháp này trong lưới điện Smart Grid cũng đã được đề xuất [30], [31], [32].

- Trong nước

Hiện nay, các phương pháp nghiên cứu mô hình hóa lưới điện chủ yếu tập trung vào mô phỏng lưới điện và giải quyết các bài toán liên quan đến tối ưu hóa, ổn định chế độ làm việc, hay tích hợp năng lượng tái tạo [33],[34],...

Phương pháp Fractal cũng đã bước đầu được nghiên cứu ở Việt Nam trên các lĩnh vực như: tính toán lưu lượng internet [35], viết chương trình toán học [36]...Đặt biệt trong lĩnh vực điện chưa được nghiên cứu.

TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Ngày nay với sự ra đời của các nguồn năng lượng tái tạo, các bộ chuyển đổi điện tử công suất, và sự phát triển không ngừng của công nghệ thông tin cũng như việc tích hợp chúng trong lưới điện, điều này làm cho lưới điện trở nên thông minh hơn hơn, vận hành kinh tế và hiệu quả hơn. Tuy nhiên, lưới điện sẽ phức tạp hơn về mặt cấu trúc, phân tích, mô hình và vận hành. Hạn chế lớn nhất của việc mô phỏng lưới điện phức tạp hiện tại là việc tích hợp nhiều mô hình cổ điển yêu cầu một dung lượng lớn bộ nhớ ghi nhận và tốn nhiều thời gian xử lý và không thể hiện sự tương tác giữa các

phần tử tích hợp thêm vào lưới điện, do vậy cần thiết phải nghiên cứu một mô hình hiện đại mô tả được tính phức tạp của hệ thống lưới điện hiện tại.

Đề tài này giới thiệu một phương pháp toán học mới “Fractal” dùng mô tả các lưới phức tạp như sơ đồ mao mạch trong cơ thể người, mô hình bông tuyết, mô hình tia sét,... Trong nội dung đề tài, phương pháp này được áp dụng trong việc mô hình hóa lưới điện. Trước hết là kết luận về tính khả thi của việc áp dụng phương pháp mới trong việc mô hình hóa truyền tin trên đường dây tải điện. Việc xây dựng mô hình trên phương pháp mới sẽ được đối chiếu với phương pháp truyền thống nhằm đưa ra một kết luận khả thi cho mô hình và khả năng ứng dụng của đề tài trong thực tế

MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

- Giới thiệu phương pháp mới “Fractal”
- Xây dựng mô hình lưới điện phức tạp bằng phương pháp mới này.
- Nghiên cứu xây dựng mô hình truyền tin trên đường dây tải điện.

ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu: Lưới điện phức tạp Smart Grid, truyền tin trên đường dây tải điện, phương pháp mới “Fractal”.

Phạm vi nghiên cứu: Xây dựng mô hình và mô phỏng lưới điện

CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Cách tiếp cận:
 - Nghiên cứu tài liệu, khảo sát lí thuyết và các cấu trúc Fractal.
 - Nghiên cứu tài liệu về mô hình truyền thông truyền thông tin trên đường dây tải điện.
 - Đề xuất khả năng áp dụng của phương pháp này so với phương pháp truyền thống
 - Phương pháp nghiên cứu:
 - Sử dụng các tính chất đồng dạng cho lưới điện dùng truyền tin để tìm mô tả toán học theo phương pháp FRACTAL.
 - Sử dụng mô hình đưa ra để áp dụng vào lưới thử nghiệm.
 - So sánh với mô hình truyền thống đưa ra nhận xét.vì truyền tin trên đường dây tải điện

CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ LƯỚI ĐIỆN NGÀY NAY

I.1. Lưới điện ngày nay _ Smart Grid

I.2. Mô hình hóa lưới điện truyền thống

Nghiên cứu một lưới điện lớn, phức tạp thường được chia thành 2 phần: lưới điện nghiên cứu và lưới điện bên ngoài. Lưới điện nghiên cứu phải được mô hình hóa một cách cụ thể với các mô tả toán học chi tiết nhằm thể hiện các hiện tượng động xảy ra bên trong. Lưới điện bên ngoài và được mô hình hóa bằng cách mô hình đơn giản giảm bậc được gọi tên là mô hình động tương đương. Theo [26], 3 loại mô hình động tương đương tương ứng với 3 loại nghiên cứu sau :

- 1) Mô hình động tương đương tần số cao để nghiên cứu các hiện tượng quá độ, từ trường.
- 2) Mô hình động tương đương tần số thấp để nghiên cứu các hiện tượng dao động điện cơ trong lưới điện.
- 3) Mô hình động tương đương có dải băng tần rộng để nghiên cứu các hiện tượng xảy ra với dải tần số rộng ở giữa. Loại mô hình này được sử dụng để mô phỏng thời gian thực [62].

I.3. Mô hình hóa lưới điện phức tạp

I.3.1. Lý thuyết Graph

I.3.2. Lý thuyết Fractal dựa trên tính bất biến của hệ thống

a) Định nghĩa

Định nghĩa về tính bất biến được đề xuất để phân tích các hiện tượng tới hạn mà không dựa vào đặc tính cấp độ của nó. Nói cách khác, chúng ta đang đề cập đến các hiện tượng mà có thời gian xảy ra là không giới hạn, và các hiện tượng xảy ra tại những điểm của hệ thống có liên hệ mật thiết với nhau và ảnh hưởng liên tục đến nhau. Nhìn nhận dưới cấp độ vĩ mô cho lưới điện thì đó chính là hiện tượng tới hạn nào đó, mà chính nó gây ra một sự thay đổi liên tục cùng tính chất, dẫn đến sự đổ lưới điện mà không cần quan tâm đến cấp độ xem xét lưới điện, ví dụ như hiện tượng sụp đổ điện áp (black-out).

Về mặt cấu trúc, một đặc tính bất biến tiêu biểu của hệ thống là sự bất biến trong những lần phân chia từng phần theo cấp độ của nó. Ta muốn nói đến một sự phân chia liên tục giống nhau, trong đó một vật thể lớn bất kỳ có thể được phân tích thành những vật nhỏ giống nhau để cấu tạo nên nó. Ví dụ như, cấu tạo của những bông tuyết, tia chớp, những hệ thống mao mạch.... [5]. Những cấu trúc có tính chất của sự phân chia liên tục giống nhau đó, được gọi là những cấu trúc fractales [15].

b) Mô tả toán học

Nếu hàm toán học mô tả 1 hệ thống bất biến theo dạng

$$f(x)=x^n$$

Thì tính chất bất biến của hệ thống sẽ được biểu diễn qua phương trình sau :

$$f(kx)^n=k^n \cdot f(x)$$

Cho đến nay, k được biết đến với 3 đại lượng là thông số chiều hướng hình học fractal (fractal dimension), thông số spectral dimension và thông số chuyển động hỗn độn dw.

1.4. Các loại hệ số bất biến của mô hình Fractal

1.4.1. Tham số fractale dimension

1.4.2. Tham số spectrale dimension

Xem xét sự phân bố các mode $N(\omega)$ theo số lượng các mode dao động có tần số riêng nhỏ hơn giá trị ω của nó. Cho lưới fractal. Shender (1976) và Dhar (1977) định nghĩa quy luật được mô tả dưới dạng hàm mũ như sau :

$$N_M(\omega) = \int_0^{\omega} \rho(\omega') d\omega' \propto \omega^{ds}$$

Hệ số mũ của phương trình trên có tên là tham số spectrale dimension (ds).

1.4.3. Tham số chuyển động hỗn độn dw

1.4.4. Mối quan hệ giữa các tham số hình học fractal dimension, tham số spectrale dimension và tham số chuyển động hỗn độn :

$$ds = \frac{D}{\xi}$$

Biểu thức trên thể hiện mối quan hệ giữa 2 tham số fractale dimension (D) và spectrale dimension (ds),

$$\xi = \frac{dw}{2}$$

Biểu thức này một mối quan hệ giữa 3 tham số fractal với nhau D , ds và dw .

1.4.5. Phương pháp tính toán hệ số dimension spectrale

1. Phương pháp tính dựa trên phân tích các mode dao động:

Phương pháp này dựa trên định nghĩa và được xác định nhờ vào phần mềm MATLAB bởi hàm « power_statespace ». Khi mà tất cả các mode dao động đã được tính toán, biểu diễn mối quan hệ giữa số lượng các mode dao động theo các tần số dao động riêng của nó trên đồ thị log-log. Nếu có tính chất bất biến của Fractal, dạng đồ thị sẽ là 1 đường thẳng nghiêng một góc, góc nghiêng này theo định nghĩa chính là giá trị của spectrale dimension.

2. Phương pháp tính dựa trên mối quan hệ giữa các tham số fractal.

Theo công thức sau :

$$ds = \frac{D}{\xi}$$

CHƯƠNG II. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH FRACTAL ĐỂ MÔ HÌNH HÓA LƯỚI ĐIỆN.

II.1. Giới thiệu về lưới điện áp dụng IEEE 118 nút

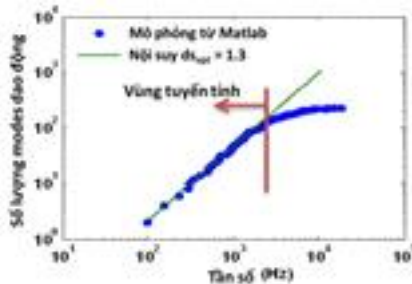
Cấu hình của lưới điện IEEE-118 nút được cấp nguồn từ nút 69 cho như trên Hình II-1. Ta giả thiết rằng : lưới điện là hoàn toàn đối xứng, đường dây đủ ngắn, tất cả các loại tải không được xét đến.

II.2. Kết quả tính chất bất biến của lưới điện - Hệ số dimension spectral

Việc tính toán các mode dao động được thực hiện bằng phần mềm MATLAB. Kết quả được thể hiện trên **Error! Reference source not found.**3 theo trục tọa độ log-log. Từ hình vẽ, ta nhận thấy, trong khu vực tần số thấp, sự phân bố này có dạng tuyến tính. Suy ra, kết luận được tồn tại một hàm toán học kiểu hàm mũ cho quy luật phân bố số lượng mode dao động.



Hình II-1. Cấu hình mạng IEEE 118 nút



Hình II-2. Dimension spectrale của lưới điện IEEE 118 nút

Khi ta tăng mức sai số lên đồng nghĩa với độ chính xác của phép nội suy cũng tăng lên, giá trị của hệ số dimension spectrale ds là 1,3.

II.3. Mô hình đáp ứng tần số của lưới điện

II.3.1. Mô hình « hộp đen »

Mô tả toán học của mô hình này được biết theo hàm phân số của 2 đa thức như sau :

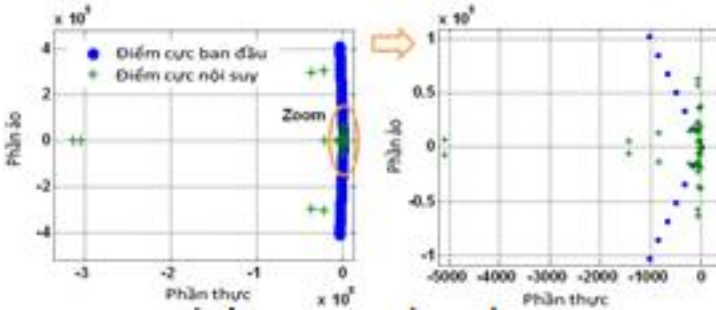
$$f(s) \approx \frac{a_0 + a_1s + a_1s^2 + \dots + a_Ns^N}{b_0 + b_1s + b_1s^2 + \dots + b_Ns^M} \quad (1)$$

Biểu thức (1) là một biểu thức không tuyến tính với 2 thông số chưa được xác định ai et bi. Theo [27] phương pháp « Vector Fitting » (VF) được đề xuất để xác định các giá trị trong biểu thức trên.

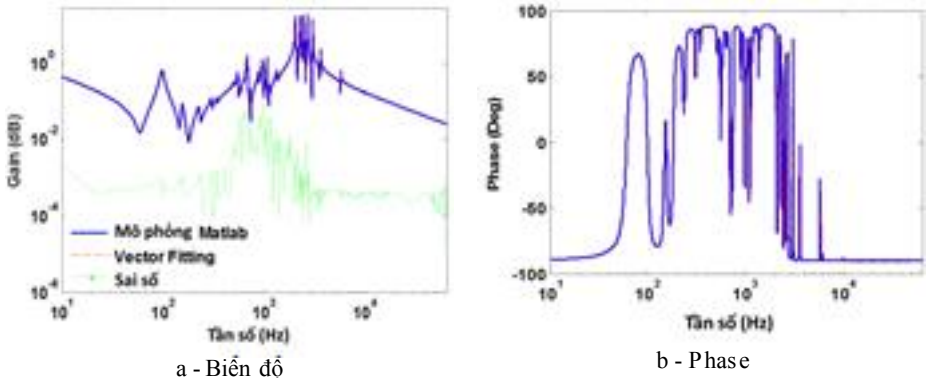
Phương pháp nội suy « Vector Fitting »

Kết quả nội suy đáp ứng tần số cho lưới điện IEEE 118 nút

Lựa chọn dải tần số cần xét từ 10^1 Hz đến 6×10^4 Hz; số điểm cực poles là 50. Sự phân bố điểm pôles ban đầu và những điểm pôles nội suy được cho như trên Hình II-3, nhận thấy sự phân bố của các điểm pôles ban đầu là tuyến tính và theo đường xiên, trong khi đó các điểm pôles nội suy được lại có xu hướng phân bố theo chiều dọc. Vì vậy, phải sau 14 vòng lặp thì mới hội tụ ra kết quả mong muốn.



Hình II-3. Phân bố điểm cực poles ban đầu và điểm cực poles được nội suy của lưới điện IEEE 118 nút



Hình II-4. Đáp ứng tần số nội suy tương ứng với 70 điểm cực pôles ban đầu của lưới điện IEEE 118 nút

Ta tiến hành tăng số điểm cực pole ban đầu lên 70 điểm, kết quả nội suy được cho như Hình II-4.

II.3.2. Mô hình đề xuất theo phương pháp fractal

thể mô tả được bản chất vật lý bên trong. Mô hình này dựa trên lý thuyết tính bất biến của hệ thống và gồm có 2 phần

a) Mô hình tiệm cận

Mô hình được phân tích theo 3 vùng: tần số thấp, tần số cao, và vùng tần số ở giữa.

- Tại vùng tần số thấp:

$$\hat{Z}_{LF}(j\omega) = \frac{1}{j\omega C_{LF}}$$

- Tại vùng tần số cao:

$$\hat{Z}_{HF}(j\omega) = \frac{1}{j\omega C_{HF}}$$

- Trong [22] và [25], các tác giả đã thể hiện rằng trong khoảng tần số ở giữa, điện kháng của lưới điện fractal được mô hình hóa dưới dạng hàm mũ với số mũ là hệ số phụ thuộc vào tính chất bất biến của hệ thống

$$Z_{IF}(\omega) \sim \omega^{-(1-ds)}$$

Cuối cùng từ các biểu thức đáp trong 3 khoảng tần số \hat{Z}_{LF} , \hat{Z}_{HF} và \hat{Z}_{IF} ta tổng hợp được mô hình tiệm cận cho đáp ứng tần số như sau:

$$\hat{Z}(j\omega) = \frac{1}{j\omega C_{HF} + \frac{1}{Z_{IF}(j\omega) + \frac{1}{j\omega(C_{BF} - C_{HF})}}}$$

Áp dụng cho lưới IEEE 118 nút :

Áp dụng cho lưới điện IEEE 118 nút, với giá trị dimension fractale tính được từ phần trên là ds_{opt} , mô hình tiệm cận theo 3 vùng tần số như sau :

$$Z(\omega) \sim 0.015 \times \omega^{-(1-ds)} \text{ với } ds_{opt} = 1.3 \quad (2)$$

$$C_{HF}(j\omega) = 1.1 \times 10^{-4} \text{ F} \quad (3)$$

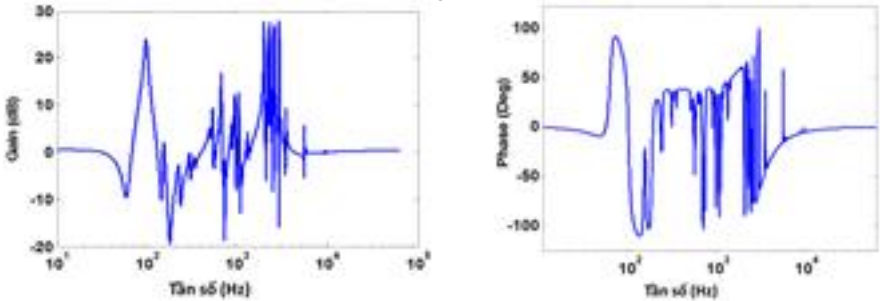
$$C_{BF}(j\omega) = 34.5 \times 10^{-3} \text{ F} \quad (4)$$

b) Mô hình các điểm dao động :

Theo công thức sau đây :

$$Z_{res}(\omega) = \frac{Z(\omega)}{\hat{Z}(\omega)} \quad (5)$$

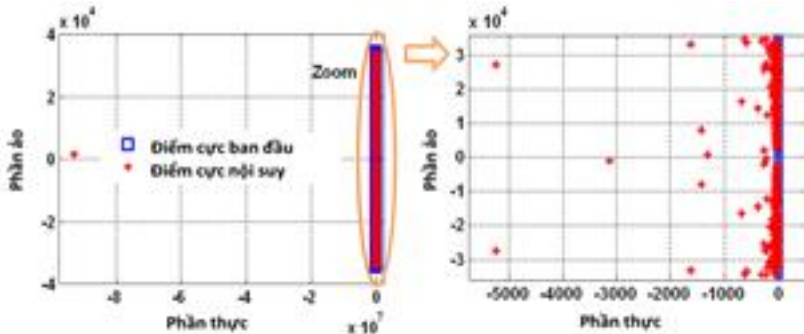
Kết quả của phần mô hình điểm dao động của lưới 118 nút được cho như hình sau.



a – Biên độ

b – Góc pha

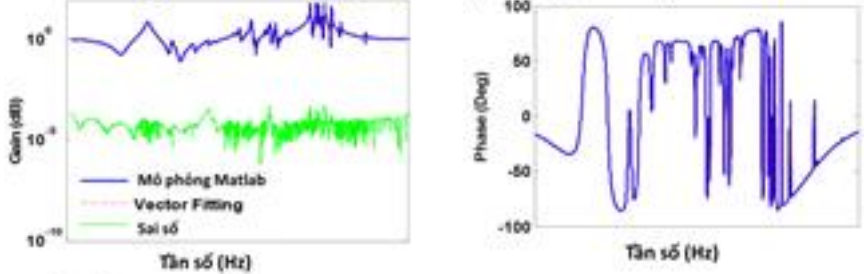
Hình II-5. Phần các đỉnh dao động của lưới điện IEEE 118 nút



Hình II-6. Phân bố các điểm cực pole ban đầu và điểm cực nội suy bởi phương pháp « vector fitting » của lưới điện IEEE 118 nút.

Nội suy với « Vector Fitting » cho lưới điện IEEE 118 nút

Chọn vector điểm cực ban đầu với dải tần số cần nội suy theo các thông số cơ bản $f_{min}=95 \text{ Hz}$; $f_{max}=5,5 \times 10^3 \text{ Hz}$, và $ds_{opt} = 1,3$. Từ đó, ta xác định số điểm cực ban đầu khoảng 140 điểm. Kết quả nội suy hội tụ chỉ trong 3 bước lặp



a - Biểu đồ

b - Phase

Hình II-7. Kết quả nội suy mô hình dao động bằng phương pháp « vector fitting » của lưới điện IEEE 118 nút

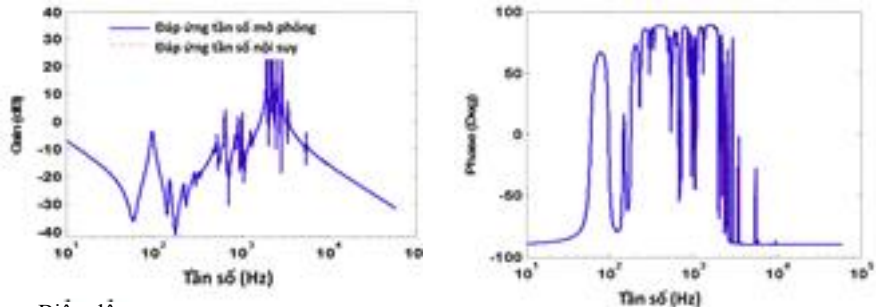
c) Mô hình đáp ứng tần số toàn phần

Biểu thức toán học như sau :

$$\tilde{Z}(\omega) = Z_{res}(\omega)\hat{Z}(\omega)$$

Áp dụng cho lưới điện 118 nút

Kết quả nội suy đáp ứng tần số toàn phần cho lưới điện 118 nút được cho như trên hình Hình II-8.



a – Biểu đồ

b – Góc pha

Hình II-8. Kết quả nội suy đáp ứng tần số toàn phần của lưới điện IEEE 118 nút

II.4. Kết luận

CHƯƠNG III. TỔNG QUAN VỀ LÝ THUYẾT TRUYỀN TÍN HIỆU

III.1. Lý thuyết truyền tin

III.1.1. Phương trình truyền sóng

III.1.2. Những định nghĩa khác

III.2. Mô hình truyền sóng của mạch điện thích nghi theo tần số

III.2.1. Cấu trúc mô hình tần số của một sóng truyền tin

a) *Mô hình xấp xỉ của hệ số truyền sóng không đổi*

Khi tần số cao, hệ số truyền sóng được xấp xỉ bởi biểu thức sau :

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} \\ &\approx j\omega\sqrt{L'C'}\sqrt{\left(1 + \frac{R'}{j\omega L'} + \frac{G'}{j\omega C'}\right)} \approx j\omega\sqrt{L'C'}\left(1 + \frac{R'}{2j\omega L'} + \frac{G'}{2j\omega C'}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

Vì $Z_c \approx \sqrt{\frac{L'}{C'}}$, suy ra mối quan hệ giữa Z_c và γ như sau:

$$\gamma \approx \frac{R'}{2Z_c} + \frac{G'Z_c}{2} + j\omega\sqrt{L'C'} \quad (8)$$

Mặt khác, ta có R' phụ thuộc vào \sqrt{f} theo hiệu ứng mặt ngoài khi tần số cao:

$$R' = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r}{\pi \sigma}} \frac{\sqrt{f}}{2r}$$

G' phụ thuộc vào hệ số tổn hao trong vật liệu điện và tần số:

$$G' = 2\pi C' \operatorname{tg} \delta \cdot f$$

L' và C' giả thuyết rằng giá trị chúng không đổi.

Biểu thức (8) được biểu diễn dưới dạng:

$$\gamma = k_1\sqrt{f} + k_2f + jk_3f = \alpha + j\beta \quad (9)$$

Trong đó:

$$\alpha = k_1\sqrt{f} + k_2f \quad (10)$$

$$\beta = \omega\sqrt{L'C'} = 2\pi\sqrt{L'C'}f = k_3f \quad (11)$$

Với k_1 , k_2 và k_3 đại diện cho vật liệu và cấu trúc của dây dẫn và được biểu diễn như sau:

$$k_1 = \frac{\sqrt{C'}}{4\pi\sqrt{L'}} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r}{\pi \sigma}} \quad k_2 = \pi \operatorname{tg} \delta \sqrt{L'C'} \quad k_3 = 2\pi\sqrt{L'C'}$$

b) *Hàm truyền sóng của một kênh truyền.*

Trong khoảng từ 50 kHz đến 20 MHz có dạng phương trình như sau:

$$\alpha = (a_0 + a_1 \cdot f^k)l \quad (12)$$

Trong đó, các hệ số a_0 , a_1 , k ($0.5 < k < 1$) đều được suy ra từ phương pháp nội suy theo các giá trị đo đạt được.

Vì vậy, hàm truyền của 1 kênh truyền sẽ có dạng:

$$\overline{H}(f) = A(f)P(f) = e^{-(a_0 + a_1 f^k)l} \cdot e^{-jk_3lf} \quad (13)$$

c) *Hàm truyền sóng của hai kênh truyền.*

Ta có hàm truyền tổng hợp như sau:

$$\overline{H}_\Sigma(f, l) = \overline{H}_1(f, l_1) + \overline{H}_2(f, l_2)$$

Hay:

$$\begin{aligned} \overline{H}_\Sigma(f, l) &= \overline{G}_1 e^{-(a_0 + a_1 f^k)l_1} e^{-j2\pi k_3 l_1 f} + \overline{G}_2 e^{-(a_0 + a_1 f^k)l_2} e^{-j2\pi k_3 l_2 f} \\ &= \sum_{i=1}^2 \overline{G}_i e^{-(a_0 + a_1 f^k)l_i} e^{-j2\pi k_3 l_i f} \end{aligned} \quad (14)$$

d) Hàm truyền sóng của nhiều kênh truyền thích nghi

Hàm truyền của nó được biểu diễn bằng biểu thức sau :

$$\overline{H}_\Sigma(f, l) = \sum_{i=1}^N \overline{G}_i e^{-(a_0 + a_i f^k) l_i} \cdot e^{-j 2\pi k f_i l_i} \quad (15)$$

III.3. Áp dụng mô phỏng mô hình với Matlab

III.3.1. Các bước tiến hành

III.3.2. Áp dụng truyền tín hiệu 1 kênh truyền trên dây cáp 1 pha

a) Xét trường hợp tải giữa dây pha và dây trung tính

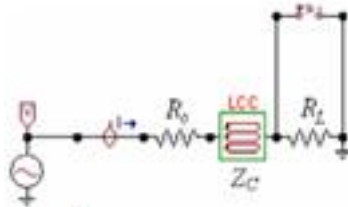
Sơ đồ mô phỏng được xây dựng trên phần mềm ATP/EMTP như hình sau. Lựa chọn điện áp tại nguồn là 100V, tần số 50 Hz, dây cáp trên không có tiết diện 150 mm và chiều dài là 50m.

Các giá trị được nội suy bằng phần mềm Matlab và đạt được:

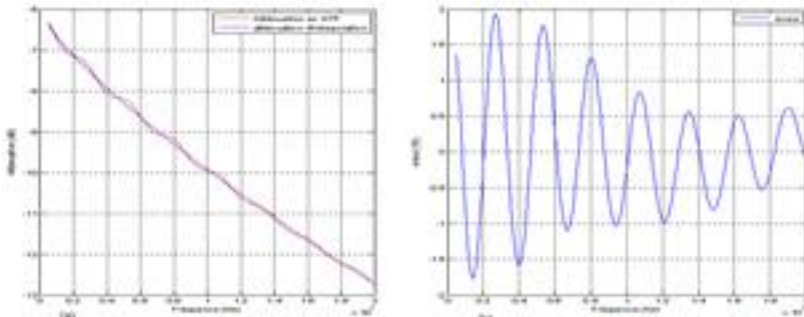
↘ $a_0 = 0.013$

↘ $a_1 = 0.317 \times 10^{-7}$

↘ $k = 0.77 < 1$



Hình III-1. Sơ đồ mô phỏng cho tín hiệu 1 kênh truyền trên dây cáp 1 pha



Hình III-2. Sai số và So sánh mô hình nội suy và kết quả mô phỏng trên EMTP/ATP .

b) Xét trường hợp tải giữa dây pha và dây trung tính của mạch điện không thích nghi

Cũng sử dụng mô hình mô phỏng như trên, nhưng do mạch điện không thích nghi nên tổng trở của tải và tổng trở đặt trung của đường dây không bằng nhau. Ở đây ta chọn tải 40 Ohms. Sau đó xác định những tham số của kênh truyền $N=1, l = 50$ met $\overline{G} = 1$. Các tham số nội suy được tính như sau:

• $a_0 = 0.009$

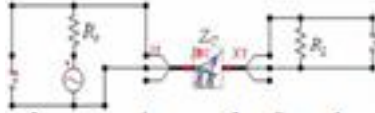
• $a_1 = 0.016 \times 10^{-3}$

• $k = 0.46 < 0.5$

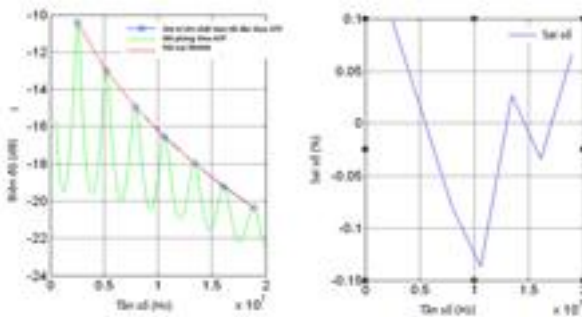
Với kết quả nội suy đó, mô hình đưa ra vẫn đáp ứng được cho trường hợp mạch điện không thích nghi với tất cả các sai số đều nằm trong khoảng chấp nhận được như trên hình trên.

c) Xét trường hợp tải giữa 2 dây pha của mạch điện thích nghi

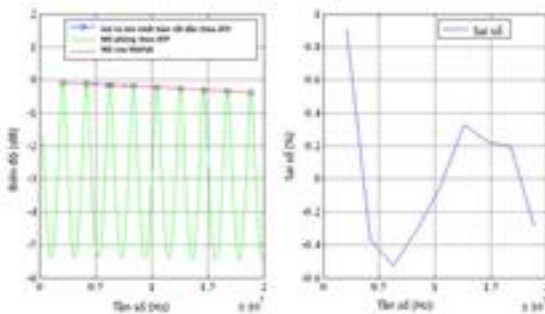
Xét trường hợp cho tải giữa hai dây pha. Giá trị của trở kháng nguồn và của tải được chọn sao cho thỏa mãn mạch điện thích nghi nên $R_0=R_L=Z_C=40 \Omega$. Điện áp nguồn được chọn với biên độ 1 V và tần số 50 Hz.



Hình III-3. Sơ đồ mô phỏng cho trường hợp tải giữa 2 dây pha của mạch điện thích nghi



Hình III-4. So sánh giữa mô hình và kết quả mô phỏng



Hình III-5. Kết quả so sánh nội suy độ suy giảm biên độ điện áp.

Ta tính chọn các hệ số về kênh truyền: $N = 1$, $l = 50$ m và $\bar{G} = 1$.

Kết quả được nội suy bằng phần mềm Matlab và thể hiện như trên hình sau:

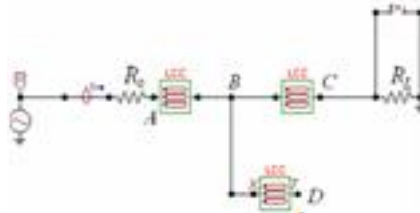
Sau khi dùng phần mềm Matlab để xác định các tham số của hàm truyền, ta có:

- $a_0 = 0.00015$
- $a_1 = 0$
- $k = 1.25 > 1$

III.3.3. Áp dụng truyền tín hiệu nhiều kênh truyền trên dây cáp 1 pha

a) Xét trường hợp mạng thích nghi 4 nút

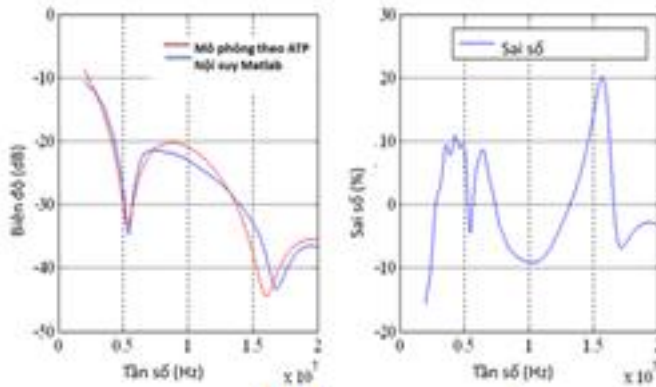
$$R_0 = R_L = Z_{AB} = Z_{BC} = 476.6 \Omega$$



Hình III-6. Mô hình EMTP của lưới nghiên cứu

Dây B-D dùng cáp loại 35 mm²: IBD = 12 m, ZBD = 515.34 Ω

Lựa chọn số kênh truyền N = 2. Sau đó tính chọn chiều dài và hệ số G của từng kênh truyền.



Hình III-7. So sánh kết quả nối suy hàm truyền tín hiệu

Giá trị các hệ số đạt được :

- $a_0 = 0.003$
- $a_1 = 0.14 \times 10^7$
- $k = 0.83$

III.3.4. Nhận xét kết quả

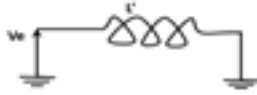
CHƯƠNG IV. Áp dụng mô hình “Fractal” trong lĩnh vực truyền tin trên đường dây tải điện

IV.1. Tính chất đồng dạng của dây dẫn truyền tải

Mô hình cấu trúc đồng dạng bao gồm nhiều cấu trúc nhỏ của 3 phần tử R' , L' mắc nối tiếp và C' mắc song song theo n tầng liên tiếp (mỗi tầng được gọi là một vòng lặp). Trong đó các giá trị phần tử được tính toán như sau :

- Ở vòng lặp 0 các giá trị R' , L' , C' được tính là tham chiếu.
- Ở vòng lặp 1, các giá trị là aR' , a^2L' và bC' . Các hệ số a, b giá trị thiết là lớn hơn 1.

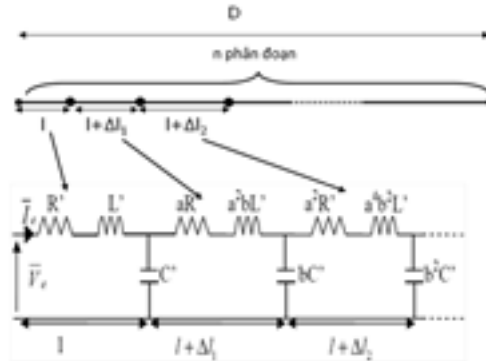
- Ở các vòng lặp tiếp theo, các giá trị R' , L' , C' được tính toán theo cấp số nhân như trên hình IV-1.
- a) Đối với đáp ứng tần số cao:



Hình IV-1. Sơ đồ mạch điện đơn giản khi xét ở tần số cao

Tần số $f > f_{sup}$ và giá trị f_{sup} được tính như sau :

$$f_{sup} = \frac{n}{2\pi L \sqrt{L' C'}} \quad (16)$$



Hình IV-1. Mô hình cấu trúc tương tự của dây dẫn truyền tải

- b) Đối với đáp ứng tần số thấp:



Hình IV-2. Sơ đồ mạch điện đơn giản khi xét ở tần số thấp
 Đáp ứng này được xác định trong khoảng tần số : $f < f_{inf}$ trong đó

$$f_{inf} = \frac{1}{2\pi L \sqrt{L' C'}} \quad (17)$$

- c) Đối với đáp ứng trong khoảng tần số ở giữa,
 Trong khoảng tần số ở giữa, giá trị tổng trở đầu vào sẽ được biểu diễn theo hàm mũ, trong đó số mũ của biểu thức là một hệ số liên quan đến tính chất tự đồng dạng của cấu trúc lưới.

$$\bar{Z}(\omega) \propto (j\omega)^{-\eta} \quad (18)$$

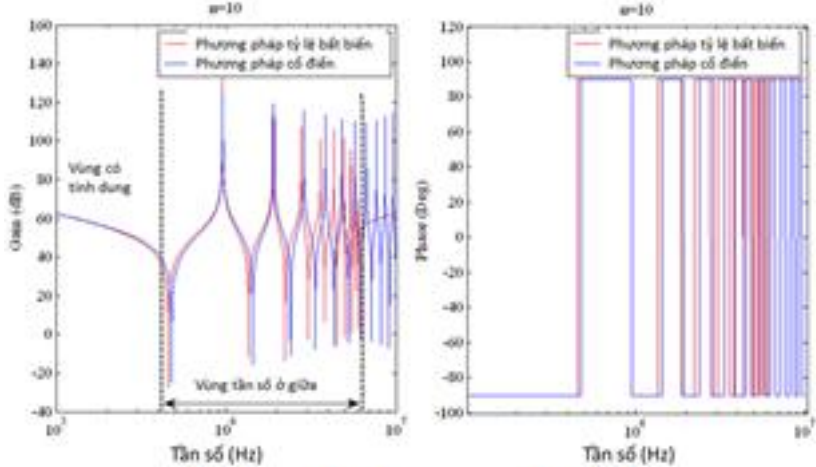
$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\log b}{\log a}} \quad (19)$$

IV.2. Xây dựng mô hình tổng trở vào của đường dây truyền tải

IV.2.1. Các bước tính toán tham số cần thiết cho mô hình Fractal

IV.2.2. Kết quả mô phỏng mô hình fractal

Với các giá trị tính toán thay thế ở mục trên, khi ta áp dụng cho trường hợp truyền sóng điện từ trên 1 đoạn đường dây AC-95 dài 100km, với giả thiết chọn $a=b=1$, và $n=5$. Để so sánh kết quả của hai mô hình fractal và mô hình cổ điển, ta xét cho đoạn dây AC-95 dài 100km. Kết quả mô phỏng của 2 mô hình như sau:



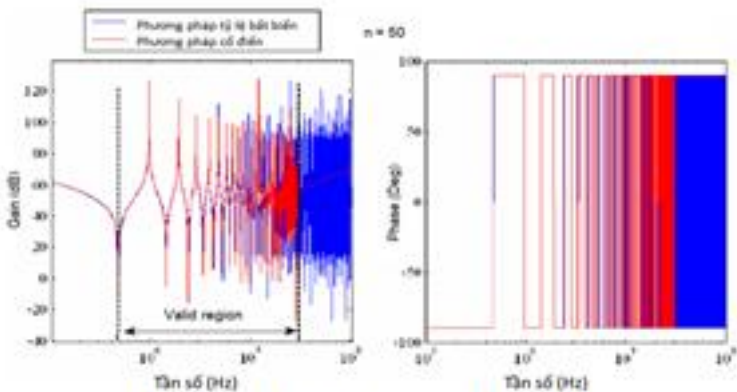
Hình IV-3. Kết quả mô phỏng của 2 mô hình tổng trở đầu vào khi $n=5$

Khi chọn $n=50$, kết quả cho được như Hình IV-4.

IV.2.3. So sánh mô hình của hai phương pháp cổ điển và fractal trong trường hợp cụ thể:

Xét trên toàn bộ dải tần số, kết quả so sánh mô hình hóa của 2 phương pháp cổ điển và phương pháp fractal cho cùng 1 trường hợp nghiên cứu trên như bảng 6.

IV.3. Kết luận



Hình IV-4. Kết quả mô phỏng của 2 mô hình tổng trở đầu vào khi $n=50$

$\bar{Z}(\omega) = \frac{\bar{V}_e}{I_e}$	Mô hình cổ điển	Mô hình fractal
Khoảng tần số cao	$\bar{Z}(\omega) = \bar{Z}_C \coth(\gamma l) = \frac{1}{j\omega C'}$	$\bar{Z}(\omega) = \frac{1}{jn\omega C'} \propto \frac{1}{j\omega C'}$
Khoảng tần số giữa	$\bar{Z}(\omega) \propto \frac{1}{\sqrt{j\omega C'}} \propto (j\omega)^{-0.5}$	$\bar{Z}(\omega) \propto (j\omega)^{-0.5}$
Khoảng tần số thấp	$\bar{Z}(\omega) = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$	$\bar{Z}(\omega) \propto j\omega L'$

Bảng 2. So sánh kết quả của hai phương pháp trong trường hợp $A=B=1$

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Đề tài giới thiệu một phương pháp mô hình hóa mới cho lưới điện hiện đại Smart Grid theo mô hình toán học Fractal dựa trên những tính chất bất biến của lưới điện. Đề tài cũng đã đưa ra các kết quả của việc áp dụng mô hình Fractal và được so sánh với các mô hình kiểu cổ điển hộp đen. Thêm vào đó, đề tài cũng đã đưa ra các kết quả cho thấy tính khả thi của mô hình Fractal trong mô hình truyền tin trên đường dây tải điện.

Với các kết quả bước đầu của đề tài, trong tương lai, đề tài sẽ tiếp tục nghiên cứu về mô hình hóa này để đem đến nhiều kết quả khả thi hơn nữa. Đặc biệt

- Đối với đường dây truyền tin: xét cho các cấu trúc phức tạp hơn và xét đến nhiều cũng như độ suy hao biên độ.
- Đối với lưới điện: xét đến các đặc tính động của tải, cũng như về các vấn đề khác như ổn định nhằm tìm ra nhiều thông số mới để đặc trưng cho lưới điện hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Faloutsos M. F. - On power-law relationships of the Internet topology, Comput. Commun. Rev. **29**(1999) pp.251-262.
- [2] Travers, J. and Milgram, S. - An experimental study of the small world problem, Sociometry **32** (1969) pp.425-443.
- [3] Jeong H., Tombor B., Albert R., Oltvai Z. N., & Barabási A. L. - The large-scale organization of metabolic networks. Nature **407** (6804) (2000) p.651-654.
- [4] Sabonnadière J. C, et al. - Lignes et réseaux électriques 2: méthodes d'analyse des réseaux électriques. Hermes Science Publications, 2007.
- [5] Michel Laguës et al. - *Invariances d'échelle. Des changements d'états à la turbulence*. Berlin. 2008.
- [6] Mandelbrot B. B. - *Fractals: Form, Chance and Dimension*. W.H.Freeman & Company, 1977.

- [7] Erdős P., & Rényi A. - *On the Evolution of Random Graphs*. the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences **2** (1960) pp.17-61.
- [8] Watts, D., & Strogatz, S. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, **393**(6684) (1998), pp. 440-442.
- [9] Doye, J. Network topology of a potential energy landscape: a static scale-free network. *Physical Review Letters*, **88**(23)(2002), pp.1-4.
- [10] Jeong, H., Tombor, B., Albert, R., Oltvai, Z. N., and Barabasi, A.-L. - The large-scale organization of metabolic networks, *Nature* **407** (2000), pp. 651–654.
- [11] Fararo, T. J. and Sunshine, M., *A Study of a Biased Friendship Network*, Syracuse University Press, Syracuse, NY, 1964.
- [12] Huberman, B. A., *The Laws of the Web*, MIT Press, Cambridge, MA, 2001.
- [13] Boss, M., Elsinger, H., Summer, M., & Thurner 4, S., The network topology of interbank market. *Quantitative Finance*, **4**(6) (2004), pp. 677-684.
- [14] Watts, D. J. and Strogatz, S. H., Collective dynamics of “small-world” networks, *Nature*, **393** (1998), pp. 440–442.
- [15] Mandelbrot, B. B. *Fractals: Form, Chance and Dimension*. W.H.Freeman & Company, 1977.
- [16] D’Arcy Thompson. *On Growth and Form*. Cambridge University press, 1917.
- [17] Charef, A., H. H. Fractal System as Represented by Singularity Function. *IEEE Trans on Automatic Control*, **37**(9) (1992), .
- [18] LE, Thi-Tinh-Minh, Retiere, N., Dynamic Equivalent of Power System Based on Scale Invariance for Smart Grid Simulation, in Proc. 2014 Electrimacs, May 2014.
- [19] Cortina, R., Piolfini, G., Ceozzi, S., D’Amore, M., Telecommunication systems on Power Distribution Networks: High frequency performances of carrier channels, *IEEE Trans. on PAS*, **9**(2) (1994), pp.654-660.
- [20] Amirshahi, P., Kavehrad, M., Medium Voltage Overhead Power-line Broadband Communications; Transmission, Capacity and Electromagnetic Interference, Proceedings of ISPLC 2005, Vancouver, Canada, April 2005.
- [21] Clerc, J.P., Tremblay, A.-M. S., Albinet, G. and Mitescu, C.D.. A.C. response of fractal networks, *Le Journal de Physique – Lettres*, **45** (1984), pp. L913–L924.
- [22] Amrane, A.A., Retière, N. and Riu, D.M., New modeling of electrical power networks using fractal geometry, in Proc. 2010 IEE International Conference on Harmonics and Quality of Power.
- [23] Theiler, J., Estimating Fractal Dimension, *J. Opt. Soc. Am A* **7**(1990) pp.1055–1073.
- [24] Alexander, S., Orbach, R., Density of states on fractals: Fractons, *Le J. de Phys. – Lett.* **43** (1982), pp.L625–L631.
- [25] LE, T.T.M. and RETIERE, N., Approximation of the frequency response of power systems based on scale invariance, *Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, **131**(2017), pp.157-171.

- [26] IEEE PES General Systems Subcommittee, Dynamic System Equivalents: a survey of available techniques, IEEE Trans. on Power Deliv. 27 (2012), pp 411–420.
- [27] A. Ubolli, B. Gustavsen, Multiport Frequency-Dependent Network Equivalencing based on simulated Time–Domain Response, IEEE Trans. on Power Deliv. 27 (2012), pp 648–657.
- [28] De Arcangelis, L., Redner, S., & Coniglio, A. (1986). Multiscaling approach in random resistor and random superconducting networks. Physical Review B, 34(7), pp.4656.
- [29] Thorp, J. S., & Naqavi, S. A. (1997). Load-Flow Fractals Draw Clues to Erratic Behavior.
- [30] C. Song, S. Havlin, H.A. Makse, Self-Similarity of Complex Networks, Nat. 433(2005) 392–395.
- [31] H.E. Stanley, L.A.N. Amaral, P. Gopikrishnan, P.Ch. Ivanov, T.H. Keitt, V. Plerou, Scale invariance and universality: organizing principles in complex systems, Phys. A: Stat. Mech. and its Appl. 281 (2000) 60–68.
- [32] A.-L. Barabasi, R. Albert, Emergence of Scaling in Random Networks, Science 286 (1999), pp. 509–512.
- [33] T. T. Năng, L. K. H. Lan, N. T. Huyền, T. T. Hương, P. T. Tuấn, N. X. Cường, P. T. Hồng, và B. M. Duyên, “Triển vọng phát triển nguồn điện gió tại Việt Nam”, Viện Khoa Học Vật Liệu Ứng Dụng Viện Khoa Học & Công Nghệ, Việt Nam, 2014.
- [34] P. T. Tùng, V. C. Mai, và A. Wasielek, “Tình hình phát triển điện gió và khả năng cung ứng tài chính cho các dự án ở Việt Nam”, Dự án Năng lượng Gió GIZ, Hà Nội, 2012.
- [35] <http://123doc.org/document/1327705-ung-dung-li-thuyet-fractal-trong-nghien-cuu-va-xay-dung-cac-mo-hinh-luu-luong-internet.htm>
- [36] Nguyễn Ngọc Cường và al., <http://123doc.org/document/102378-nghien-cuu-ve-hinh-hoc-fractal-viet-chuong-trinh-cai-dat-mot-so-duong-va-mat-fractal.htm>
- [37] Zimmermann, M., Dostert, K.D., A multipath model for power line channel, IEEE Trans. On communications, 50(4), (2002), pp.553–559.
- [38] Celozzi, S., D’Amore, M., Prediction models of standing wave patterns on distribution line carrier channels, IEE PROCEEDINGS-C, 139(2) (1992), pp.102–108.
- [39] Amirshahi, P., Kavehrad, M., Medium Voltage Overhead Power-line Broadband Communications; Transmission, Capacity and Electromagnetic Interference, Proceedings of ISPLC 2005, Vancouver, Canada, April 2005.
- [40] L. de Arcangelis et al., Multiscaling approach in random resistor and random superconducting networks, Physical Review, 1986.
- [41] James S. Thorp et al., Load-Flow Fractals Draw Clues to Erratic Behavior, IEEE Computer Applications in Power, 1997.
- [42] L. S. Sañavian et al., CLASSIFICATION OF TRANSIENTS IN POWER SYSTEMS USING MULTIFRACTAL ANALYSIS, CCECE conference, 2004.

- [43] J. Ning et al., A Wavelet-based Method to Extract Frequency Feature for Power System Fault/Event Analysis, IEEE/PES, 2009
- [44] D. Markovic, C. Gros, Power laws and Self-Organized Criticality in Theory and Nature. Physics Reports 536 (2014), 41–74
- [45] S. Racewicz, P.J Chrzan, D.M Ri u, N. Retiere, Time domain simulations of synchronous generator modelled by half-order system, Proc. 38th Ann. Conf IEEE Ind. Electron. Soc. (IECON), Montreal, Canada (2012) 2074-2079
- [46] J. Theiler, Estimating fractal dimension, J. Opt. Soc. Am A 7 (1990) 1055-1073.
- [47] (GOUYET, <http://www.jfgouyet.fr/>, 2007).
- [48] D. Stauffer, A. Aharony, Introduction to Percolation Theory, second ed., CRC Press, New-York, 1994.
- [49] R. Rammal, G. Toulouse, Random walks on fractal structures and percolation clusters, J. Phys. Lett. 44 (1983) L13-L22.
- [50] P. Kundur, Power system stability and control, New York: McGraw-Hill Inc., 1994.
- [51] Ishida M and Hill R M, “*The impedance of scaled transmission lines*”, 1992 J. Phys.: Condens. Matter 4 2865–78
- [52] Pagani, Giuliano Andrea, and Marco Aiello. "The power grid as a complex network: a survey." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 392, no. 11 (2013): 2688-2700 Kröger, Wolfgang, and Enrico Zio. Vulnerable systems. Springer Science & Business Media, 2011.
- [53] Sun, Ke. "Complex networks theory: A new method of research in power grid." In 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, pp. 1-6. IEEE, 2005.
- [54] Sanchez, Jose, Raphael Caire, and Nouredine Hadjsaid. "ICT and power distribution modeling using complex networks." In PowerTech (POWERTECH), 2013 IEEE Grenoble, pp. 1-6. IEEE, 2013.
- [55] Buldyrev, Sergey V., Roni Parshani, Gerald Paul, H. Eugene Stanley, and Shlomo Havlin. "Catastrophic cascade of failures in interdependent networks." *Nature* 464, no. 7291 (2010): 1025-1028.
- [56] , Crucitti, Paolo, Vito Latora, and Massimo Marchiori. "Model for cascading failures in complex networks." *Physical Review E* 69, no. 4 (2004): 045104.
- [57] Gustavsen, Bjørn, and Adam Semlyen. "On passivity tests for unsymmetrical models." *IEEE Transactions on Power Delivery* 24, no. 3 (2009): 1739-1741 (Jean MAHSEREDJIAN et al., 2007).
- [58] Bruno MEYER et al. (1998). Outils de simulation dynamique des réseaux électriques .Techniques de l'ingénieur.
- [59] Kundur, Prabha, John Paserba, Venkat Ajarapu, Göran Andersson, Anjan Bose, Claudio Canizares, Nikos Hatziaargyriou et al. "Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions." *IEEE transactions on Power Systems* 19, no. 3 (2004): 1387-1401. Cha, Seung Tae, Qiuwei Wu, and Jacob Østergaard. "A generic danish distribution grid model for smart grid technology testing." In 2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), pp. 1-6. IEEE, 2012.

- [60] Hilfer, R., and A. Blumen. "Renormalisation on Sierpinski-type fractals." *Journal of Physics A: Mathematical and General* 17, no. 10 (1984): L537.
- [61] Kuznetsova, E., Culver, K., & Zio, E. (2011). Complexity and vulnerability of Smartgrid system. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference (ESREL)*, (pp. pp. 2474-2482).
- [62] S.M. Amin, B.F. Wollenberg, Toward a smart grid: power delivery for the 21st century, *IEEE Power Energ. Mag.* 3 (2005) 34–41
- [63] E. Kuznetsova, K. Culver, E. Zio, Complexity and vulnerability of smart grid systems, *Proc. Eur. Safety Reliab. (ESRL) Conf.*, Troyes, France (2011) 2474–2482.
- [64] A. St. Leger, J. James, D. Frederick, Smart grid modelling approach for wide area control applications, *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, San Diego, USA (2012) 22-26.
- [65] Hua Lin, S. Sambamoorthy, S. Shukla, J. Thorp, al., Power system and communication network co-simulation for smart grid applications, *Proc. IEEE Innov. Smart Grid Tech. (ISGT) Conf.*, Anaheim, USA, (2011) 17-19.
- [66] J. Nutaro, P.T. Kuruganti, L. Miller, S. Mullen, al., Integrated hybrid-simulation of electric power and communications systems, *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, Tampa, USA (2007) 1-8.
- [67] K. Hopkinson, Xiaoru Wang, R. Giovanini, J. Thorp, al., EPOCHS: a platform for agent-based electric power and communication simulation built from commercial off-the-shelf components, *IEEE Trans. Power Syst.* 21 (2006) 548-558