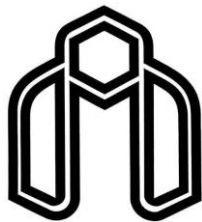


بیت‌المقدس



دانشگاه صنعتی شاهرود

عنوان پایان نامه:

تعیین ژنراتور های همپا و معادل سازی دینامیکی

در سیستم های قدرت

نگارش:

معز داودی

استاد راهنما:

دکتر مهدی بانژاد

اساتید مشاور:

دکتر مجید علومی و دکتر علیرضا احمدی فرد

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

تابستان ۸۷

چکیده:

هدف این پایان نامه بررسی روشهای خوشه بندی در تقسیم بندی سیستمهای قدرت چند ماشینه بر اساس رفتار مشابه نوسانات زاویه روتور می باشد. در روشهای همپایی بر اساس خوشه بندی، با توجه به موقعیت اغتشاش در سیستم قدرت می توان شبکه را به چند ناحیه تقسیم کرد. از آنجاییکه در یک شبکه با تعدادی زیادی باس، خطوط انتقال و ژنراتور سنکرون، انجام مطالعات دینامیکی با انجام محاسبات بسیار و زمانبر همراه است، لذا از روش خوشه بندی برای تعیین ژنراتورهای همپا استفاده شده است.

در این پایان نامه از روشهای خوشه بندی برای تعیین ژنراتورهای همپا استفاده می شود. روشهای خوشه بندی بدون سرپرست به کار رفته در این پایان نامه شامل خوشه بندی سلسله مراتبی، خوشه بندی سخت K-میانگین و خوشه بندی فازی C-میانگین می باشند. برای دو شبکه تست 39 باسه و 68 باسه، ژنراتورهای سنکرون همپا با استفاده از سه روش خوشه بندی مذکور تعیین شدند. برای تایید روشهای پیشنهادی، رفتار ژنراتور معادل هر خوشه از ژنراتورهای همپا تعیین شد. انتخاب یکی از سه روش فوق به ماتریس داده ها، که بیانگر ویژگیهای فیزیکی شبکه است، بستگی دارد. در این پایان نامه برای دو سیستم تست، جوابهای مشابهی برای سه روش فوق بدست آمد.

فهرست شکل

ها.....
ه.....

فهرست

جداول.....
ح.....

فصل اول:

مقدمه.....
1.....

1-1

.....مقدمه

2.....

2-1 مزایای

.....معادلسازی

2.....

3-1 تقسیمی بندی کلاسیک سیستم

3..... قدرت

4-1 روش های معادل سازی

.....دی ز امریکای

3..

1-4-1 روش

.....همپایی

3.....

2-4-1 روش

.....تخمین

3.....

3-4-1 روش

.....مدال

4.....

4-4-1 مقایسه روشهای معادلسازی

4..... دی ن امریکای

5-1 چند ناحیه ای کردن سیستم

5..... قدرت

6-1 هدف از انجام پای ن

.....نامه

6.....

فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته در شناسایی ژنراتورهای همپا و معادلسازی

8..... دی ز امریکای

1-2

مقدمه

9.....

2-2 پای‌دا / ری گذرای سیس‌تم

9..... قدرت

3-2 انواع

..... اغتشاشات

10.....

1-3-2 اغتشاشات پای‌دا / ری

10..... گذرا

4-2 مدلسازی سیس‌تم

..... قدرت

12.....

1-4-2 ماتریس ادمی *ت* انس *ت* ی/ف *ت* به گره های داخلی ژنراتورها

15.....

2-4-2 معادلات شبکه قدرت در فضای

16..... حالت

3-4-2 روش حل معادلات نوسان در سیس‌تم چند

19..... ماشینی *ا*

5-2

..... همپایی

20.....

6-2 شناسایی ژنراتورهای

..... همپا

21

1-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از معی / ر

22..... فاصله

2-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از نقاط

24..... تکی

3-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از روش تفکیک

24.....

4-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از روش تابع

24..... انرژی

5-6-2 روش تخمین زاوی θ

25..... روتور

6-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از روش شبی θ سازی

25..... خطی

7-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از آنالی Z

25..... طیفی

8-6-2 شناسایی توسط مدهای

26..... کند

7-2 انواع روشهای معادل سازی ژنراتورهای

27..... همپا

1-7-2 روش Y_k پارچه سازی با استفاده از مدل

27..... کلاسیک

2-7-2 Y_k پارچه کردن ژنراتور های هم پا با توجه به شی N ترمی M

27..... آنها

1-2-7-2 نقلی N شی های ژنراتوری

27..... شبکه

2-2-7-2 نقلی N شی های بار

35..... شبکه

3-2-7-2 جایگزین کردن ژنراتورهای همسان با یک ژنراتور

36..... معادل

3-7-2 Y_k پارچه سازی ماشی M ای همپا با توجه به شی N داخلی

37..... آنها

4-7-2 Y_k پارچه سازی ماشی N ای همپا با توجه به می Z N

39..... لختی

1-4-7-2 الگوریتم یک پارچه سازی

لختی.....39

5-7-2 یک پارچه سازی بر اساس هم پایی کند

.....41

6-7-2 یک پارچه سازی غفوری / ن و

برگ.....45

فصل سوم: خوشه

.....بندی

.....47

1-3

.....مقدمه

.....48

2-3 اصطلاحات خوشه

.....بندی

.....49

1-2-3

.....داده

.....49

2-2-3

.....خوشه

.....50

3-2-3 اجزا سیستم خوشه

.....بندی

0

4-2-3 ساختار کلی خوشه بندی.

.....51

3-3 رویکردی کلی بر انواع روشهای خوشه

.....بندی

1-3-3 خوشه بندی سلسله

52.....مراتبی

2-3-3 روش خوشه بندی سلسله

53.....مراتبی

3-3-3 الگوریتم خوشه بندی سلسله

54.....مراتبی

4-3 خوشه بندی

.....سخت

58.....

1-4-3 خوشه بندی K-

.....می از گین

58.....

2-4-3 تقسیم بندی سخت

.....

59.....

5-3 خوشه بندی فازی

.....

62.....

1-5-3 خوشه بندی فازی C-می از گین

62.....

6-3 خوشه بندی

.....ژنتیکی

65.....

7-3 خوشه بندی بوسیله شبکه

65.....عصبی

8-3 کیفیت خوشه

.....بندی

65.....

فصل چهارم: کاربرد روشهای خوشه بندی در چند ناحیه ای کردن سیستم قدرت بر اساس همپایی 67

1-4

مقدمه.....

68.....

2-4 شبیه ه سازی معادلسازی

69..... کلاسیک

1-2-4 شبیه ه سازی معادلسازی شبکه 39 باسه

69..... نیواز گاند

3-4 نتایج شبیه ه سازی برای روشهای خوشه

72..... بندی

3-4 معیار

همپایی.....

72.....

4-4 کاربرد خوشه بندی سلسله مراتبی به منظور شناسایی ژنراتورهای

73..... همپا

1-4-4 شبیه ه سازی عددی خوشه بندی سلسله مراتبی در شبکه 39

76..... باسه

2-4-4 شبیه ه سازی عددی خوشه بندی سلسله مراتبی در شبکه 68

81..... باسه

5-4 کاربرد خوشه بندی K-می از گین به منظور شناسایی ژنراتورهای

83..... همپا

1-5-4 فرآیند خوشه بندی K-

83..... می از گین

2-5-4 نتایج شبیه ه سازی عددی در شبکه 68

87..... باسه

6-4 کاربرد روش خوشه بندی فازی C-می از گین به منظور شناسایی ژنراتورهای

88..... همپا

7-4 معادلسازی خوشه ها و مقایسه رفتار سیستم اصلی

ومعادل.....92

فصل پنجم: نتیجه گیری و

پیشنهادات.....

99.....

1-5: نتیجه گیری....

.....

100.....

2-5:

پیشنهادات.....

101.....

مراجع

.....

102.....

شکل(1-2) فلوچارت الگوریتم پایدار گذرای سیستم چند

ماشینز.....20

شکل(2-2)-موقعیت شین های ژنراتورهای همپا درسیستم

اصلی.....31

شکل(3-2) نحوه اتصال باس های ترمینال ژنراتورهای همپا با باس های معادل از طریق

ترانسفورماتور ایده آل با نسبت تبدیل

مختلط.....

32.....

شکل(4-2) انتقال ژنراتورها، بارها و ادمیترانسهای موازی به باس

معادل.....34

شکل(5-2) نمایش شبکه بعد از حذف باسهای ترمینال ژنراتورها در شبکه اصلی از طریق

ترکیب سری ترانسفورماتورهای ایده آل با شاخه های

مشترک.....35

شکل(6-2): فلوچارت یکپارچه سازی ژنراتورهای همپا بر اساس ترمینال

آنها.....37

شکل (7-2) نمایش یک گروه همپا شامل دو ماشین A و B
38.....

شکل (8-2) ایجاد ایجاس باس p و
.....q
40.....

شکل (9-2) فلوجارت یک پارچه سازی ژنراتورهای همپا با توجه به میزا ن
لختی.....41

شکل (10-2) یک پارچه سازی بر اساس همپایی
42.....کند

شکل (11-2) مدل خطی سازی زی ر سیستم
44.....کند

شکل (12-2) فلوجارت یک پارچه سازی همپایی
46.....کند

شکل (1-3) شماتیک الگوریتم خوشه بندی
51.....

شکل (2-3) دسته بندی داده ها با استفاده از دندروگرام و نمایش دیگرام آن با دیگرام
ون.....52

شکل (4-3) فلوجارت نمونه الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی تک پیوندی
55.....

شکل (4-3) فلوجارت خوشه بندی سلسله مراتبی تک پیوندی
56.....

شکل (5-3) فلوجارت خوشه بندی K-
می از گین.....60

شکل (6-3) فلوجارت خوشه بندی فازی C-
می از گین.....63

شکل (7-3) پراکنندگی داده ها در کیفیت خوشه بندی
65.....

شکل (1-4) دی **اگر** م تک خطی شبکه تست 39 باسه و 10 ماشی **ه** نی **واز** **گ** **ل** **ن** **د**
70.....

شکل (2-4) رفتار دامنه ولتاژ خطا درسی **تم** اصلی و سی **تم** معادلسازی
شده..... 71.....

شکل (3-4) منحنی نوسانات زاوی **ه** روتور سی **تم** اصلی و سی **تم** معادلسازی
شده..... 71.....

شکل (4-4) فلوجارت شناسایی گروه های همپای ژنراتوری توسط خوشه بندی سلسله
مراتبی..... 74.....

شکل (5-4) شبکه دو ناحی **ه**
ای.....
75.....

شکل (6-4) دندروگرام شبکه دو ناحی **ه**
ای..... 76.....

شکل (7-4) **نمایش** سه بعدی منحنی نوسانات زاوی **ه** روتور ژنراتورها به ازای اتصال کوتاه در
باس 8
.....
78.....

شکل (8-4) **نمایش** دو بعدی منحنی های نوسانات زاوی **ه** روتور ژنراتورها به ازای اتصال کوتاه
در
باس 3
.....
78.....

شکل (9-4) دندروگرام ژنراتورهای شبکه با اعمال خطا در نزدیکی باس 3 و خط 3-4
79.....

شکل (10-4) منحنی نوسانات زاوی **ه** روتور نزدیکی باس 25 در خط 25-
26..... 80.....

شکل (11-4) دندروگرام ژنراتورهای شبکه با اعمال خطای سه فاز در نزدیکی باس 25 و
خط 26
-
..... 25
81.....

شکل (12-4) تقسی م بندی شبکه **68** باسه به چهار گروه همپا
82.....

شکل (13-4) دندروگرام درختی ژنراتورهای شبکه **68** باسه نی **واز** **گ** **ا** **ند** به ازای اعمال
خطا **نزدیک** باس **29** واقع در خط **28-**
29.....
83.....

شکل (14-4) طرح بی ن شده روش تکرار وساختار محدوده ها ی / ژنراتورهای مرجع
در فرآیند **ا** خوشه بندی
84.....

شکل (15-4) فلوجارت شناسایی گروه های همپا به روش خوشه بندی **K-**
می از گین 85.....

شکل (16-4) می زا ن پراکندگی داده ها در **4** گروه با اعمال خطا **نزدیک** باس
3 86.....

شکل (17-4) می زا ن پراکندگی داده ها در **6** گروه با اعمال خطا **نزدیک** باس
3 86.....

شکل (18-4) پراکندگی داده های **ماتریس** شباهت
فازی 87.....

شکل (19-4) می زا ن پراکندگی داده ها در خوشه بندی **K-**
می از گین 88.....

شکل (20-4) داده های ماتریس معیار **همپایی** با مراکز
تصادفی 89.....

شکل (21-4) فلوجارت شناسایی ژنراتورهای همپا با استفاده از خوشه بندی فازی **C-**
می از گین 90.....

شکل (22-4) مراکز 4 خوشه در اثر اعمال خطا در **نزدیک** باس **3** خط **3-**
4 91.....

شکل (23-4) مقادی ر تابع هدف در طی فرآیند **ا** خوشه
بندی 91.....

چهارخوشه

92.....

شکل (52-4) منحنی نوسانات زاوی θ روتور ژنراتورها به همراه ژنراتور معادلشان برای چهار گروه بندی در اتصال کوتاه سه فاز نزدیک باس 3 در خط 3-4

94.....

شکل (26-4) منحنی نوسانات زاوی θ روتور ژنراتورها به همراه ژنراتور معادلشان برای چهار گروه بندی در اتصال کوتاه نزدیک باس 25 واقع در خط 25-25

95.....26

شکل (27-4) منحنی نوسانات زاوی θ روتور ژنراتورها به همراه ژنراتور معادلشان برای شش گروه بندی در اتصال کوتاه نزدیک باس 25 واقع در خط 25-25

96.....26

شکل (28-4) منحنی نوسانات برای چهار گروه معادلسازی شده در نزدیک باس 25 خط 26-26

97....25

شکل (29-4) منحنی نوسانات برای شش گروه معادلسازی شده در نزدیک باس 3 خط 3-3

97.....4

شکل (30-4) منحنی نوسانات زاوی θ روتور ژنراتورهای شبکه 68 باسه با اعمال خطا در نزدیک باس

29.....

98.....

شکل (31-4) نوسانات زاوی θ روتور ژنراتورهای معادل چهار گروه

98.....

جدول (1-2) علائم اختصاری برای نمایش کمیت های دو ماشین همپا.....38

جدول (1-4)-ماتریس شباهت فازی با اعمال خطا در نزدیک باس 3 و خط 3-4.....77

جدول (2-4)-نتایج خوشه بندی سلسله مراتبی برای گروه بندی مختلف شبکه با اعمال خطا در نزدیک باس 3.....79

جدول (3-4)-ماتریس شباهت فازی با اعمال خطا در نزدیک باس 25 و خط 25-25

80.....26

جدول (4-4)-نتایج خوشه بندی سلسله مراتبی برای گروه بندی مختلف با اعمال خطای سه فاز در نزدیکی باس 25.....81

جدول (5-4)-نتایج خوشه بندی K-می از گین برای چهار و شش گروه بندی در اتصال کوتاه نزدیکی باس 3 خط 4-3.....87

جدول (6-4)-نتایج خوشه بندی K-می از گین برای گروه بندی مختلف در اتصال کوتاه نزدیکی باس خط 25.....-25

.....26

87.....

فصل اول

مقدمه

1-1 مقدمه

بررسی دقیق و شبیه سازی بسیاری از پدیده های دینامیک نیازمند مدل کامل چند ماشینه می باشد و در این راستا علاوه بر زمان و قدرت محاسباتی زیاد برای شبیه سازی، اطلاعات کاملی از شبکه بعنوان ورودی لازم است که بدست آوردن بعضی از این اطلاعات غیرممکن می باشد. همچنین درجه بالای مدل سیستم، کار طراحی کنترل کننده ها و اقدامات اصلاحی را پیچیده می کند. مجموعه این عوامل باعث استفاده از مدل های دینامیکی ساده شده سیستم قدرت می شود که ضمن سادگی، مشخصات سیستم اصلی را در برداشته باشد.

2-1 مزایای معادلسازی

از مزایای معادل سازی دینامیکی برای یک شبکه قدرت، اقتصادی بودن، حجم محاسبات کمتر و کاهش زمان در تحلیل شبکه می باشد. در معادل سازی دینامیکی، یک شبکه بزرگ و پیچیده به شبکه های کوچکتر با همان کارایی تقسیم می شود که برنامه ریزی مطلوبی را برای وضعیت خاموشی، قطع بار و پایداری شبکه فراهم می کند.

علاوه بر زمان و قدرت محاسباتی هنگفت برای شبیه سازی شبکه چند ماشینه، اطلاعات کاملی از سیستم قدرت بعنوان ورودی لازم است که بدست آوردن بعضی از این اطلاعات غیرممکن است. همچنین درجه بالای چنین مدل‌هایی کار طراحی کنترل کننده ها و اقدامات اصلاحی را پیچیده می نماید. معادل های دینامیکی برای تحلیل پایداری، طراحی پایدارکننده ها و بررسی محدودیت های انتقال بین ناحیه ها به کار می رود و همچنین برای برنامه ریزی و عملیات در شبکه و نیز محاسبات ناپایداری گذرا مؤثر می باشد.

آنچه که امروزه لزوم معادل سازی را بیش از عوامل فوق موجب می شود در حقیقت عدم دسترسی به اطلاعات کاملی از شبکه و اجزای مرتبط با آن در همه نقاط شبکه است. این امر موجب می شود که در اینگونه موارد شبکه به نواحی داخلی و خارجی تقسیم بندی شده و برای نواحی خارجی از مدل‌هایی با مرتبه پایین تر که نیاز به اطلاعات کمتری از شبکه دارند استفاده شود. در این راستا ارائه روش برای معادلسازی سیستم از دید ماشین موردبررسی اهمیت دارد.

3-1- تقسیم بندی کلاسیک سیستم قدرت

معمولا سیستم قدرت را بر اساس روشهای معادلسازی، به دو بخش داخلی یا قسمت تحت مطالعه و بخش خارجی تقسیم می کنند. براساس نزدیکی خطا به ژنراتورهای شبکه و تغییرات توان ژنراتورهای نزدیکتر به اغتشاش، بخش داخلی مشخص می شود و بقیه ژنراتورهای شبکه به عنوان ژنراتورهای بخش خارجی شناخته می شوند [1].

4-1- روش های معادل سازی دینامیکی

در ادامه روش هایی که برای معادل سازی دینامیکی سیستم قدرت به کار گرفته می شود تشریح می شوند.

1-4-1 روش همپایی¹

در این روش ژنراتور ها به گروه های همپا تقسیم بندی شده و برای هر گروه یک معادل بدست می آید. همپایی پدیده ای است که در هنگام بروز اغتشاش در سیستم قدرت بعضی از ژنراتورهای شبکه از خود نشان می دهند. در این حالت ژنراتورهای همپا زاویه روتورشان تقریبا رفتارشان مشابه با یکدیگر بوده و با هم نوسان می کنند [2]. این روش شامل شناسایی ماشین های همپایی، یکپارچه سازی ژنراتورها می باشد.

¹ - Coherency

2-4-1 روش تخمین² [3-5]

در این روش پس از مشخص کردن شبکه به بخش داخلی و بخش خارجی، مدلی ساده و با درجه کاهش یافته برای بخش خارجی بدست می آید. راه های مختلفی برای تخمین مدل سیستم خارجی وجود دارد. در این روش پس از تشکیل مدل خطی سیستم قدرت چند ماشینه، ژنراتورهای ناحیه داخلی با پارامترهای حقیقی و ژنراتورهای مرزی با پارامترهای فرضی مشخص می شوند. در این روش نوسانات توان، سرعت زاویه ای و ولتاژ و جریان در سیستم قدرت را بر اثر اعمال خطا در یک باس اندازه گیری کرده و با روش مینیمم سازی خطا، پارامترهای ژنراتورهای مرزی تخمین زده می شود. به طور کلی معادل سیستم خارجی با استفاده از تخمین بدست می آید.

3-4-1 روش مدال³ [6-8]

در این روش معادلات حاکم بر سیستم قدرت به صورت خطی در آمده و به فرم فضای حالت بیان می شود. سپس با استفاده از روشهای تقلیل درجه سیستم ها به یک سیستم تقلیل یافته از درجه پایین برای شبکه خواهیم رسید. در این روش مدهای غالب سیستم حفظ شده و بقیه مدها از معادلات سیستم حذف می شوند. تاثیر ساده سازی بخش خارجی تاثیر آن بر روی بخش داخلی در نظر گرفته می شود. اساس این روش بر آنالیز مقادیر ویژه سیستم می باشد. در این روش معادلات حالت سیستم خارجی به صورت معادله دیفرانسیلی غیر خطی بیان شده و به علت آنکه اغتشاش وارد شده از بخش داخلی به بخش خارجی تاثیر کمی دارد از مدل خطی شده سیستم در بخش خارجی استفاده می شود و با استفاده از تبدیل تشابه⁴ معادلات خطی شده سیستم خارجی را قطری می شود و بعد از بدست آوردن مقادیر ویژه سیستم، از مقادیر ویژه با میرایی زیاد و فرکانس بالا صرف نظر می شود.

بعد از حفظ بقیه مقادیر ویژه مدل مرتبه پایینی برای بخش خارجی بدست می آید. لازم به ذکر است که مدل سیستم با در نظر گرفتن تجهیزات کنترلی بوده است، که با در دسترس نبودن پارامترهای سیستم و تجهیزات کنترلی از دقت روش مدل کاسته خواهد شد.

4-4-1 مقایسه روشهای معادلسازی دینامیکی

روش های معادل سازی دینامیکی سیستم های قدرت هر يك دارای مزایا و معایبی هستند. یکی از مشکلات مهم بررسی رفتار دینامیکی شبکه های قدرت گسترده بودن این شبکه ها و عدم دسترسی به اطلاعات و پارامترهای مربوط به ماشینهای سنکرون و تجهیزات کنترلی شبکه می باشد.

این موضوع باعث محدودیت های کلی دربرگرفی بعضی از این روشها می شود. روش مدال نیازمند تجزیه و تحلیل کل سیستم برای بدست آوردن مدهای آن می باشد و باتوجه به نداشتن اطلاعات

² - Estimation

³ - Modal analysis

⁴ - Symmetry Transformation

فوق در عمل این روش برای کاربرد در بسیاری از شبکه ها با محدودیت های جدی مواجه است. اما با توجه به اینکه در روش همپایی برای داشتن سیستم معادل اجباری به استفاده از مدل کامل تجهیزات سیستم قدرت نمی باشد استفاده از روش همپایی می تواند به سادگی صورت پذیرد. در روش تخمین نیز به مانند روش همپایی احتیاج به دانستن جزئیات دقیق سیستم نداریم. اما در این روش به نمونه برداری دقیق از سیگنالهای ورودی و خروجی نیاز است. در مطالعه رفتار دینامیکی سیستم قدرت شبکه را به دو بخش داخلی و بخش خارجی تقسیم می کنیم. در روش مدال و تخمین هرگاه این دو بخش ارتباط ضعیف داشته باشند نتایج خوبی حاصل می شود. در غیر این صورت نتایج بدست آمده از این دوروش از دقت پایینی برخوردار است [9]. این محدودیت در روش همپایی وجود ندارد همچنین از جمله مزایای عمده روش همپایی اینست که پیکره بندی کل شبکه را حفظ می کند و این امکان را می دهد که یک دید فیزیکی روی شبکه معادل داشته باشیم. در روش های مدال و تخمین شبکه خارجی با یک مدل کاملاً ریاضی جایگزین می شود. این موضوع در طراحی جبران کننده ها و وسایلی که به موقعیت اجزاء سیستم قدرت مرتبط هستند باعث بروز بعضی اشکالاتی می شوند که معادل به دست آمده در روش همپایی این اشکالات را ندارند. از مدل بدست آمده از روش همپایی می توان علاوه بر کاربردهای معمولی هر مدل ساده شده برای شناخت ارتباط مدهای نوسانی سیستم با نواحی مختلف و شناخت نقاط ضعف شبکه انتقال از نظر پایداری نیز بهره برد.

محققین همواره بدنبال روشهایی بوده اند تا بتوانند به یک معادل دینامیکی ساده تر از سیستم برسند که از حجم معادلات کمتری برخوردار باشد بنحوی که رفتار این سیستم معادل با تفرانس خطای قابل قبولی بیانگر رفتار سیستم اصلی باشد.

5-1 چند ناحیه ای کردن سیستم قدرت

اخیراً شبکه با استفاده از روشهای مختلفی، به بخشهای کوچکتر تقسیم شده و ژنراتورهای هر ناحیه با یک ژنراتور معادل می شوند. در سیستم قدرت بر اثر تغییرات بار یا اغتشاش و صاعقه سیستم قدرت، در وضعیت های مختلفی عملکرد متفاوتی خواهد داشت لذا چند ناحیه ای کردن سیستم قدرت علاوه بر قابلیت اطمینان بیشتر سیستم قدرت، صرفه جویی در زمان تجزیه و تحلیل سیستم قدرت، مدیریت بهینه ای در سیستم قدرت وجود خواهد داشت.

در تقسیم بندی سیستم قدرت نکات زیر باید در نظر گرفته شود [10].

در نظر گرفتن انحراف فرکانس⁵ : عدم تعادل توان اکتیو بین ژنراتورها و بار باعث انحراف فرکانس از حالت عادی می شود. انحراف فرکانس پائین باعث مشکلات بیشتری در سیستم قدرت نسبت به انحراف فرکانس بالا می شود.

در نظر گرفتن پایداری ولتاژ در تعادل توان راکتیو⁶ : ژنراتورهای هر ناحیه بایستی پایداری ولتاژ در آن ناحیه داشته باشد و سیستم بدون ناحیه می تواند منجر به ناپایداری ولتاژ⁷ شود.

کنترل از راه دور ظرفیت توان: گاهی اوقات به منظور تغییر ظرفیت توان نیروگاه ها، در اثر پدیده های مختلف در شبکه ، سیستم قدرت به بخشهای کوچکتر تقسیم شوند. کنترل از راه دور ظرفیت توان نیز از محاسن این عمل شمرده می شود.

انعطاف⁸ : هدف اساسی چند ناحیه ای شدن سیستم های قدرت، اتوماسیون و خودکار شدن ابزارهای کنترلی بین ناحیه ای سیستم است .

همانطور که می دانیم بررسی شبکه های قدرت بدلیل بهم پیوستگی و گستردگی خطوط و همچنین اجزای زیاد آن از حجم محاسباتی زیادی برخوردار است. از اینرو تلاشهای بسیاری برای ساده سازی انجام محاسبات و کم کردن حجم حافظه مورد نیاز صورت گرفته است.

6-1 هدف از انجام پایان نامه

با توجه به ناپایداری شبکه و نداشتن اطلاعات دقیق از کل پارامترهای شبکه، چند ناحیه کردن سیستم قدرت ضروری به نظر می رسد. هدف از انجام این پایان نامه، تقسیم بندی سیستم قدرت بر اساس موقعیت و مکان خطا به روش خوشه بندی بدون سرپرست می باشد. سپس معادل سازی ژنراتورهای هر بخش توسط یک ژنراتور انجام می شود. معادلسازی باید به گونه ای باشد که رفتار ژنراتور معادل مشابه رفتار ژنراتورهای همان ناحیه باشد. خوشه بندی بدون سرپرست بدون نیاز به آموزش شبکه، بعد از اعمال خطا به شبکه به نحو مطلوبی شبکه را تقسیم بندی می کند.

در این پایان نامه روشهای خوشه بندی برای شناسایی ژنراتورهای همپا به کار برده شده است و تلاش بر این خواهد بود که با بهره گرفتن از روشهای خوشه بندی، شبکه به چندین بخش تقسیم شود.

چند ناحیه ای کردن یا جزیره ای کردن سیستم قدرت بر اساس رفتار زمانی ژنراتورهای سیستم قدرت انجام خواهد شد در فصل دوم کارهای گذشته در شناسایی ژنراتورهای همپا مرور خواهد شد و همچنین انواع روشهای معادلسازی به روش همپایی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. انواع روشهای

⁵ - Frequency deviation

⁶ - reactive power balance

⁷ - Voltage instability

⁸ - Flexibility

شناسایی ژنراتورهای همپا که در مقالات مورد بررسی قرار گرفته به طور خلاصه آورده خواهد شد و بیان خواهد گردید که هر کدام دارای چه محاسن و معایبی می باشد.

در فصل سوم به بیان روش خوشه بندی پرداخته خواهد شد و انواع روشهای خوشه بندی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در فصل چهارم از روشهای خوشه بندی به منظور ناحیه بندی سیستم قدرت استفاده خواهد شد. نتایج شبیه سازی خوشه بندی در دو شبکه تست **39** باسه **10** ژنراتور، نیوانگلند و شبکه تست **68** باسه **16** ژنراتور IEEE مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

در فصل پنجم، با توجه به شبیه سازی و مطالعات انجام شده نتیجه گیری از این پایان نامه انجام خواهد شد و در نهایت پیشنهاداتی برای کارهای آینده ارائه خواهد شد.

فصل سوم

خوشه بندی

1-3 مقدمه

با مشاهده در طبیعت می یابیم که ترکیب و ساختار مشخصی در اجزای مختلف آن و پدیده هایی که ما به دنبال شناخت آن ها هستیم وجود دارد. بدین ترتیب بشر همواره به دنبال یافتن ساختار مشاهداتی خود بوده است که این کار پایه و اساس خوشه بندی داده ها می باشد. مشاهدات تجربی، ما را به این سمت هدایت می کند که بین ورودی ها و خروجی های یک تجربه ارتباط برقرار کنیم و با استفاده از شناخت ساختار و ترکیب بین داده ها، بتوانیم آن ها را بر اساس الگوها، معیارها، اشکال و دیگر ویژگی هایشان خوشه بندی کنیم. در واقع خوشه بندی به مفهوم دسته بندی اجزای تشکیل دهنده یک سیستم بر اساس تشابه بین آنها می باشد.

خوشه بندی در بسیاری از زمینه های مهندسی ، کاربردهای فراوانی دارد. خوشه بندی در حقیقت به مدیریت بهینه و طبقه بندی⁹ اعضای یک مجموعه که خصوصیات و ویژگیهایی را با توجه به معیار خاص داشته باشد کمک فراوانی می کند.

⁹ - Classification

مهمترین مساله در خوشه بندی انتخاب معیارهایی است که می خواهیم بر اساس آن ها، داده ها را دسته بندی کنیم به طوری که معیارهای مزبور باید طوری باشد که هدف شخص تصمیم گیرنده را ارضا کند.

چندگانگی در این مورد، با توجه به طبیعت خاص هر الگو، عملاً سبب گردیده است تا الگوریتم های گوناگونی برای خوشه بندی به وجود آید. به این ترتیب الگوریتم های خوشه بندی را می توان با در نظر گرفتن نقطه نظر اصلی در وضعیت خوشه ها در طبقات مختلف جای داد.

خوشه بندی سازمان دهی مجموعه ای از الگوها بر اساس شباهت در خوشه هاست. به طوری که الگوهای داخل یک خوشه بندی دارای بیشترین تفاوت با الگوهای خوشه های دیگر باشد. به طور کلی فرآیند خوشه بندی به یک دسته بندی بدون سرپرست تعریف می شود که هیچ اطلاع قبلی در مورد کلاس ها، یا تعداد آنها موجود نیست. در دسته بندی با سرپرست، مجموعه ای از الگوهای برچسب دار ¹⁰ (دسته بندی شده) موجود است و مسئله، بر چسب زدن به داده جدید است. این الگوهای برچسب دار، کلاس ها را توصیف می کنند که این کلاس ها برای برچسب زنی الگوی جدید به کار می روند ولی در خوشه بندی که نوعی دسته بندی بدون سرپرست است، هیچ اطلاع قبلی راجع به کلاس ها یا تعداد آنها موجود نیست. به مسئله دسته بندی مجموعه ای از الگوهای بدون برچسب در خوشه های ممکن است و به هر خوشه نیز یک برچسب اختصاص می یابد ولی این برچسب از خود داده ها ناشی می شوند.

به طور کلی خوشه سازی به معنی افزاز مجموعه ای از داده ها به زیرمجموعه ها یا خوشه های جداگانه است به نحوی که داده موجود در یک خوشه دارای ویژگیهایی باشد که آنرا از داده های موجود در سایر خوشه ها متمایز می سازد [70-75].

2-3 اصطلاحات خوشه بندی

1-2-3 داده

روشهای خوشه بندی می تواند برای داده ای که مقداری و کیفی یا ترکیبی از ایندو باشد استفاده شود. جایگاه n مشاهدات بوسیله $X = [x_k | k=1,2,\dots,n]$ ، $x_k \in R^n$ مشخص شده است و بوسیله یک ماتریس $n \times n$ نمایش داده شده است.

¹⁰ - Pattern's label

$$x = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Nn} \end{pmatrix} \quad (1-3)$$

در شناسایی الگوها، ردیفهای x ، الگوها (patterns) یا موضوعات (objects) نامیده می شود. ستونها بیانگر خصوصیات داده می باشند.

برای مثال در پزشکی، ردیفهای x ممکن است بیماری و ستونها نشانه یا علائم مریضی و یا اندازه گیری آزمایشگاه باشد. زمانیکه خوشه بندی به منظور مدلسازی و شناسایی سیستمهای دینامیکی به کار می رود، ردیفهای x شامل نمونه های سیگنالهای زمانی و ستونها برای نمونه، متغیرهای فیزیکی مشاهده شده می باشد.

2-2-3 خوشه

تعاریف متفاوت یک خوشه مطابق، هدف خوشه بندی فرمول بندی می شود. به طور کلی هدف اساسی خوشه بندی اینست که نمونه ها با دیگر عناصر خوشه، شباهتشان بررسی شود. در استاندارد فاصله (معیار متری)، شباهت اغلب بوسیله متوسط نرم فاصله¹¹ تعریف می شود. فاصله می تواند بین بردارهای داده، یا فاصله از یک بردار داده تا بعضی نمونه های خوشه اندازه گیری شود.

داده می تواند اشکال هندسی مختلفی از خوشه ها را معلوم کند. خوشه ها می تواند کروی، کشیده شده و یا به شکل توخالی باشد.

کارایی اغلب الگوریتم های خوشه بندی فقط تحت تاثیر اشکال هندسی و چگالی های خوشه ها نیست، اما بوسیله ارتباط فضایی و فواصل بین خوشه ها تعیین می شود. خوشه ها می تواند کاملاً جداگانه، اتصال با یکدیگر یا همپوشانی با همدیگر داشته باشد [70-72].

3-2-3 اجزا سیستم خوشه بندی

یک سیستم خوشه بندی نمونه شامل اجزاء زیر است :

۱) نمایش الگو: این بخش اختیاری است و می تواند شامل استخراج ویژگی ها و یا انتخاب ویژگیها باشد.

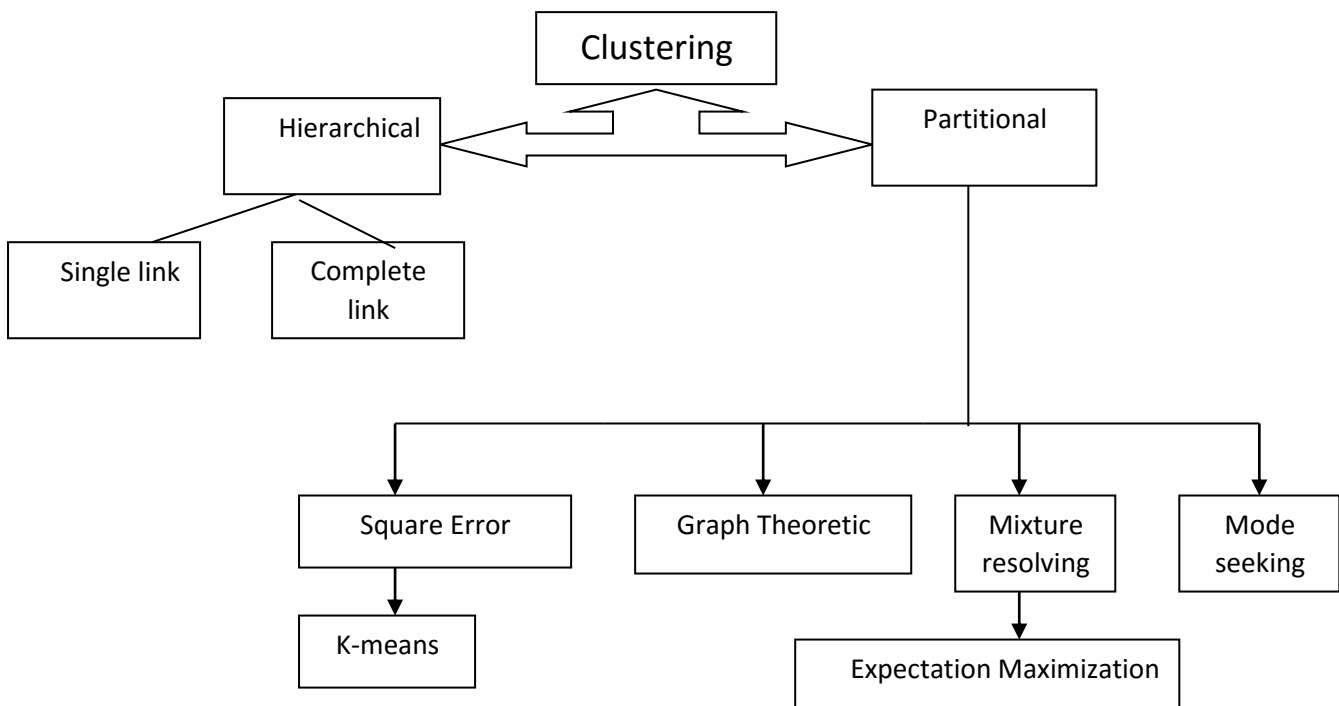
۲) تعیین معیار نزدیکی الگو متناسب با حوزه داده

۳) گروه بندی یا خوشه بندی

¹¹ - Distance norm

4-2-3 ساختار کلی خوشه بندی

ساختار کلی خوشه بندی به صورت زیر است. همانطور که در شکل دیده می شود خوشه بندی به طور کل به دو بخش خوشه بندی سلسله مراتبی¹² و خوشه بندی جزء بندی¹³ تقسیم می شود. خوشه بندی سلسله مراتبی بر پایه ارتباط کامل¹⁴ و ارتباط تکی¹⁵ بین خوشه ها می باشد. خوشه بندی جزء بندی همانطور که در زیر دیده می شود بر پایه تئوریهای گراف درختی¹⁶، مجذور خطا و غیره تقسیم می شود.



شکل (1-3) شماتیک الگوریتم خوشه بندی

¹² - Hierarchical clustering

¹³ - Partitioned clustering

¹⁴ - Complete linkage

¹⁵ - Single linkage

¹⁶ - Graph theoretic

3-3 رویکردی کلی بر انواع روشهای خوشه بندی

روشهای خوشه بندی با تجزیه و تحلیل مسایل مشکل و پیچیده، آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آنها می پردازد. از جمله روشهای خوشه بندی نمایش گرافیکی از مساله می باشد. از مزایای روشهای خوشه بندی میزان سازگاری تصمیم می باشد [75-77] روشهای خوشه بندی به کار رفته در این پایان نامه به اختصار در زیر بیان شده است.

1-3-3 خوشه بندی سلسله مراتبی

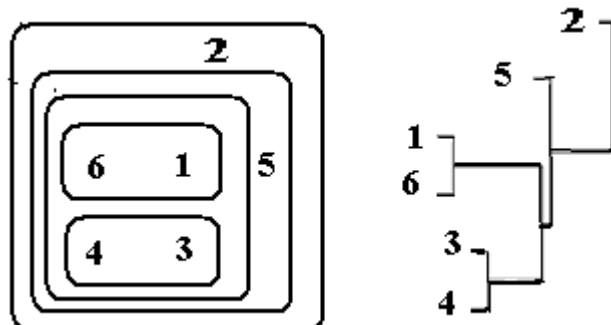
این روش کاربردهای فراوانی در مسایل اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی پیدا کرده است و در سالهای اخیر در علوم مهندسی جایگاه ویژه ای نیز داشته است.

یکی از دسته های مربوط به خوشه بندی، به الگوریتم های سلسله مراتبی اختصاص دارد. ویژگی بارز این دسته تولید یک خوشه بندی منفرد است. الگوریتم های این دسته کاملاً سریع و مستقیم عمل می کنند.

در اکثر آنها، تمامی ویژگیهای بردارها یک یا چند بار (معمولاً حداکثر 4 تا 6 بار) در اختیار الگوریتم قرار داده می شود. نتیجه نهایی وابسته به این درجه است. چنین شکل هایی بیشتر خوشه های به صورت ابر کروی یا ابر بیضوی تولید می کنند، البته این تعداد بسته به معیار فاصله ای که برایشان در نظر گرفته شده است، می باشد [77-80].

در روش سلسله مراتبی خوشه ها به صورت تودرتو می باشد که در شکل زیر با دندروگرام¹⁷ نمایش داده شده است. بعنوان مثال یک شاخه درخت باینری را در نظر گرفته، مرحله k ام مطابق با تقسیم بندی با $n-k+1$ خوشه می باشد. اگر احتیاج باشد سیستم به k خوشه تقسیم شود خوشه بندی از مرحله $n-k+1$ آورده می شود. اگر نمونه ها در خوشه مشابه مرحله k ام باشد آنها در مراحل بالاتر در خوشه مشابه می مانند.

¹⁷ - Dendrogram



شکل (2-3) دسته بندی داده ها با استفاده از دندروگرام و نمایش دیگر آن با دیاگرام ون¹⁸ [80]

2-3-3 روش خوشه بندی سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای اولین بار توسط توماس ساعتی¹⁹ در سال 1980 مطرح شد. این تکنیک بر اساس مقایسه زوجی بنا نهاد شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می دهد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی به علت ماهیت ساده و در عین حال جامعی که دارد مورد استقبال کاربران مختلف مهندسی و مدیران اقتصادی واقع شده است.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آنها می پردازد. مهمترین قدم در تحلیل سلسله مراتبی ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می باشد که در آن هدف، معیارها و گزینه ها نشان داده می شود.

در یک نگاه کلی می توان گفت که روش ساختن یک سلسله مراتبی به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود بستگی دارد. در این پروژه تصمیم و هدف، شناسایی ژنراتورهای همپا در سیستم های قدرت می باشد.

این خوشه بندی به محاسبه تمام فاصله های (d_{ij}) بین همه خوشه ها در فضای چند بعدی می پردازد. به طور کلی $\frac{N(N+1)}{2}$ فاصله به ترتیب بایستی محاسبه شود. اگر در حین فرایند خوشه بندی، دو خوشه P و Q در یک خوشه جدید K جای داده شود، در آنصورت فاصله بین خوشه k از خوشه دیگر R به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d(k,R) = \beta_1 d(P,R) + \beta_2 d(Q,R) + \beta_3 d(P,Q) + \beta_4 |d(P,R) - d(Q,R)| \quad (2-3)$$

¹⁸ - Venn diagram

¹⁹ - Tomas saati

ضرائب در وضعیت های مختلف متفاوت می باشند. نام این وضعیت ها در جدول 1 تحت عنوان های پیوند تکی، پیوند کامل، پیوند میانگین ساده و روش شبه مرکز، میانه و ناحیه ای آمده است. مراکز اولیه خوشه برای شناسایی موثر می باشد. مطابق اساس خوشه بندی سلسله مراتبی، نوع ساختار ترتیبی مطابق با داده می باشد.

جدول (1-3) محاسبه فاصله ها در خوشه بندی سلسله مراتبی [83]

Name	β_1	β_2	β_3	β_4
Single linkage	1/2	1/2	0	-1/2
Complete linkage	1/2	1/2	0	1/2
Simple Average linkage	1/2	1/2	0	0
Average linkage	$\frac{n_p}{n_p + n_Q}$	$\frac{n_p}{n_p + n_Q}$	0	0
Centriod	$\frac{n_p}{n_p + n_Q}$	$\frac{n_p}{n_p + n_Q}$	$\frac{n_p}{(n_p + n_Q)^2}$	0
Median	1/2	1/2	-1/4	0
Ward	$\frac{n_R + n_Q}{n_R + n_P + n_Q}$	$\frac{n_R + n_Q}{n_R + n_P + n_Q}$	$\frac{-n_R}{n_R + n_P + n_Q}$	0

3-3-3 الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی [81-82]

در خوشه بندی سلسله مراتبی هر داده ماتریس در یک خوشه قرار داده می شود، بطوریکه اگر هر تعداد داده باشد، همان تعداد خوشه وجود دارد، که هر کدام فقط شامل یک خوشه می باشند. فاصله (شبهات) های بین خوشه ها مشابه فاصله بین داده هایی است که آنها شامل می شوند.

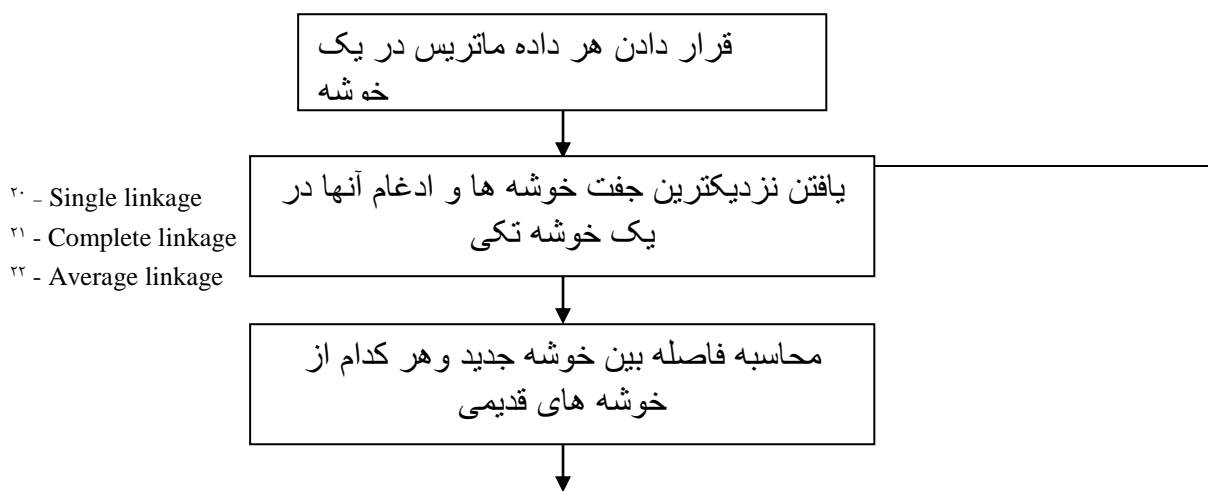
نزدیکترین جفت خوشه ها محاسبه شده و ادغام آنها در یک خوشه تکی انجام می شود، بطوریکه یک خوشه کمتر ایجاد می شود سپس فاصله های بین خوشه جدید و هر کدام از خوشه های قدیمی

محاسبه می شود و این روند تا زمانی که همه نمونه ها در یک خوشه تکی با اندازه N_g خوشه بندی شوند تکرار می گردد.

محاسبه فاصله می تواند به چندین روش مختلف خوشه بندی تک پیوندی²⁰، پیوند کامل²¹ و پیوند میانگین²² انجام شود که در جدول (3-1) ضرایب آنها بیان شده است. فاصله بین یک خوشه و خوشه دیگر برابر کوتاهترین فاصله از هر عضو یک خوشه تا هر عضو خوشه دیگر می باشد، شباهت بین یک خوشه و خوشه دیگر برابر بیشترین شباهت از هر عضو یک خوشه تا هر عضو خوشه دیگر می باشد. در خوشه بندی پیوند کامل فاصله بین یک خوشه و خوشه دیگر بزرگترین فاصله از هر عضو یک خوشه تا هر عضو خوشه دیگر می باشد. در خوشه بندی پیوند میانگین، فاصله بین هر خوشه و خوشه دیگر برابر میانگین فاصله از هر عضو یک خوشه تا خوشه دیگر می باشد. عموماً بدلیل کاربرد بیشتر خوشه بندی تک پیوندی، الگوریتم این نوع خوشه بندی سلسله مراتبی در شکل (3-4) آورده شده است.

این الگوریتم یک طرح متراکم است که سطرها و ستون ها را در ماتریس شباهت از بین می برد به طوری که خوشه های قدیمی در خوشه تکی جدید ادغام می شوند. بعد ماتریس شباهت به تعداد داده ها، $D=[d(i,j)]$ است. خوشه بندی ها به تعداد تکرار $0,1,\dots,(n-1)$ و آگذار شده و k سطح k امین خوشه بندی است یک خوشه با تعداد توالی m با (m) علامت گذاری می شود. نزدیکی بین خوشه ها (r) و (s) با $d[(r),(s)]$ علامت گذاری می شود.

خوشه بندی سلسله مراتبی ساختن، یا تجزیه کردن مرتبه بندی خوشه هاست. به بیان دیگر مرتبه بندی به صورت یک درخت می باشد که دندروگرام نامیده می شود. در صورت تقسیم بندی شبکه به k خوشه، $k-1$ بلندترین سطح شاخه از دندروگرام درختی بریده می شود.



شکل (4-3) فلوجارت نمونه الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی تک پیوندی

در بخشهای (4-3) و (5-3) بترتیب در مورد دو نوع خوشه بندی سخت و فازی بحث گردیده است.

گام 1: تراز اولیه و شماره توالی اولیه برابر
صفر در نظر گرفته می شود. ($m=0$ و $l=0$)

گام 2: یافتن کمترین تجانس جفت خوشه ها در خوشه بندی جاری
به عنوان مثال جفت (r) و (s) شامل مینیمم همه جفتهای خوشه ها در

شکل (4-3) فلوجارت خوشه بندی سلسله مراتبی تک پیوندی

3-4 خوشه بندی سخت²³

در خوشه بندی سخت هر داده به یک و فقط یک خوشه اختصاص می یابد. در خوشه بندی سخت درجه عضویت هر داده مساوی یا بیشتر از صفر می باشد، این بدان معناست که بین خوشه ها وابستگی وجود دارد. خوشه بندی یک آموزش بدون نظارت است و یک معیار اندازه گیری شباهت لازم می باشد. به طور کلی فاصله اقلیدسی²⁴ شاخصه اندازه گیری فضایی مناسبی بین خوشه ها می باشد [80-82]

3-4-1 خوشه بندی K-میانگین²⁵ [82-85]

این خوشه بندی به خوشه بندی C-میانگین نیز معروف است. در این خوشه بندی مراکز اولیه خوشه ها C مطابق تعداد مطلوب خوشه ها انجام می گیرد. هر خوشه بوسیله یک مرکز خوشه مشخص می باشد. (متوسط همه عضوهای خوشه) و تعداد مراکز برابر تعداد خوشه های نهایی می باشد. داده به نزدیکترین خوشه اختصاص می یابد. اگر در ارزیابی خوشه ها (میانگین فاصله از مراکز) به یک محدودیت برسد در این صورت الگوریتم متوقف خواهد شد. در این الگوریتم احتیاج به یک معیار اندازه گیری شباهت²⁶ یا معیار اندازه گیری فاصله می باشد.

روشهای خوشه بندی سخت بر اساس تئوری کلاسیک، نیاز به نمونه ای دارد، که متعلق به یک خوشه باشد یا نباشد. خوشه بندی داده سخت، در یک مجموعه داده x توانایی تقسیم بندی داده در یک تعداد مشخص دو به دو ناسازگار زیر مجموعه x را دارد. تعداد زیر مجموعه ها (خوشه ها) بوسیله C مشخص می شود. روشهای خوشه بندی فازی اجازه می دهد نمونه ها به چندین خوشه همزمان، با درجات مختلف عضویت تعلق گیرد.

مجموعه داده ها به C زیر مجموعه (خوشه بندی) تقسیم شود.

ساختار ماتریس تقسیم بندی $U = [\mu_{ik}]$ می باشد.

²³ - Hard clustering

²⁴ - Euclidean distance

²⁵ - K-means clustering

²⁶ - Similarity measure

$$U = \begin{bmatrix} \mu_{1,1} & \mu_{1,2} & \cdots & \mu_{1,c} \\ \mu_{2,1} & \mu_{2,2} & \cdots & \mu_{2,c} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mu_{N,1} & \mu_{N,2} & \cdots & \mu_{N,c} \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

2-4-3 تقسیم بندی سخت²⁷

هدف این خوشه بندی تقسیم بندی مجموعه داده ها در x در C خوشه می باشد. به منظور سرعت بخشیدن ، بر اساس آگاهی قبلی، فرض می کنیم C معلوم باشد.

با استفاده از مجموعه کلاسیک، تقسیم بندی سخت می تواند بوسیله رابطه $\{A_i | 1 \leq i \leq c \in P(x)\}$ باشد، که خواص آن در زیر آورده شده است.

$$\bigcup_{i=1}^c A_i = x, \quad A_i \cap A_j = \varnothing, 1 \leq i \neq j \leq c$$

$$\varnothing \subset A_i \subset x, 1 \leq i \leq c \quad (4-3)$$

این شرایط، زیر مجموعه های A_i که شامل همه داده در x ، آنها گسسته و هیچ کدام آنها خالی، یا شامل همه داده در x نبایستی باشد. یک روش تقسیم بندی سخت²⁸ می تواند بر اساس شرایط تابع عضویت، بیان شود.

$$\begin{aligned} \bigcup_{i=1}^c \mu_{A_i} &= x, \\ \mu_{A_i} \cap \mu_{A_j}, 1 \leq i \neq j \leq c & \\ \varnothing \subset \mu_{A_i} \subset x, 1 \leq i \leq c, 0 < \mu_{A_i} < 1 & \end{aligned} \quad (5-3)$$

μ_{A_i} تابع مشخصه (عضویت) زیر مجموعه A_i و مقدار آن بین صفر و یک می باشد.

$$\sum_{k=1}^c \mu_{ik} = 1, 1 \leq i \leq N \quad (6-3)$$

در خوشه بندی k -میانگین تعیین اولیه و تنظیم شکل گیری توده های خوشه بندی بدون ترتیب است. این خوشه بندی مشابه خوشه بندی سخت می باشد هر داده در یک و فقط یک خوشه است. در این حالت

²⁷ - Hard partition

²⁸ - Hard partition

همپوشانی خوشه ها مشخص می شود و تکرار اشتباه قسمت بندی به تکرار خوشه بندی منجر می شود. در خوشه بندی k -میانگین یک الگوریتم بر اساس مجموع مربعات خطاهای داخل خوشه ها وجود دارد. این الگوریتم به صورت $J(U, C)$ نشان داده می شود که در آن U ماتریس افراز²⁹ و پارامتر C یک بردار از مرکز دسته ها می باشد. تابع هدف³⁰ به صورت زیر تعریف می شود.

$$J(U, C) = \sum_{K=1}^n \sum_{i=1}^c \chi_{ik} (d_{ik})^2 \quad (7-3)$$

به طوری که d_{ik} فاصله بین k امین داده (x_k) و i امین مرکز خوشه C_i بوده و از رابطه (8-3) محاسبه می گردد.

$$d_{ik} = d(x_k - c_i) = \|x_k - C_i\| = \left[\sum_{j=1}^m (x_{kj} - c_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad (8-3)$$

از آنجایی که برای توصیف مکانی هر داده در فضای R^m به m المان نیاز است، برای توصیف مرکز هر خوشه نیز m المان مورد نیاز می باشد، بنابراین مرکز i امین خوشه، یک بردار با طول m به صورت زیر می باشد.

$$(9-3)$$

$$C_i = \{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{im}\}$$

به طوریکه

$$c_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \chi_{ik} x_{kj}}{\sum_{k=1}^n \chi_{ik}} \quad (10-3)$$

هدف افراز بهینه (U^*) می باشد به طوریکه تابع J مینیمم شود.

$$J(U^*, V^*) = \min J(U, V) \quad (11-3)$$

محدوده اندازه فاصله بین بردارهای داده ها در چند بعد فضایی در چندین روش انجام گیرد.

اندازه گیری فاصله می تواند با پیاده سازی روشهای LP -Metric یا $Minkowski$ صورت پذیرد.

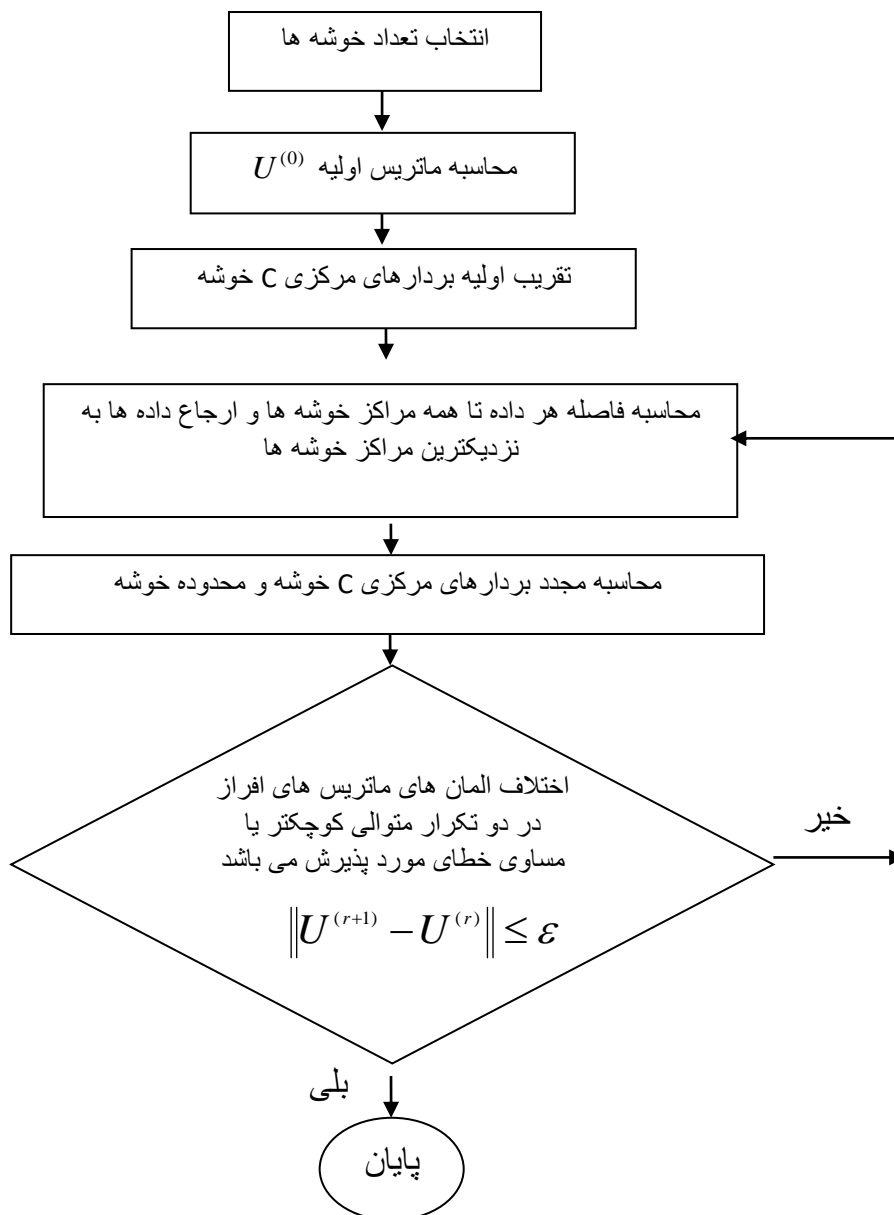
²⁹ - Partition matrix

³⁰ - Objective function

فاصله Minkowski، d_{ij} بین دو نمونه M بعدی i و j بصورت زیر بیان می شود:

$$d(x, y) = \left[\sum_{i=1}^M |x_{i1} - y_{i1}|^p \right]^{1/p} \quad (12-3)$$

داده ها با M نمونه برداری است، و با داشتن این موارد فاصله محاسبه میشود. مقدار M بر طبق تعداد متغیرها تعریف می شود. بوسیله این تعریف تابع فاصله تعریف می شود. در روش فاصله اقلیدسی مقدار p برابر 2 می باشد. الگوریتم خوشه بندی k -میانگین به صورت زیر است:



5-3 خوشه بندی فازی³¹ [85-90]

ترکیبی از منطق فازی و خوشه بندی است که قابلیت یافتن ساختارهای مبهمی از داده ها برای کار با موقعیتهای غیر قطعی را از طریق تولید مجموعه های فازی با مرز تیز را در بر می گیرد.

خوشه بندی فازی با بهره جویی از تابع عضویت برای نگاشت روی هر الگو استفاده می کند.

الگوریتم های خوشه بندی فازی را در حالت کلی می توان بر مبنای توابع هدف و مدل های فازی مختلف با معیارهای متعدد اندازه گیری فاصله و نمونه های گوناگون، به بخشهای مجزایی تقسیم کرد. اهم این بخشها عبارتند از تکنیک کلاسیک، که غالباً برای باز شناسی خوشه های توده ای به کار رفته و به خوشه بندی فضایی³² موسوم اند، بنیادی ترین الگوریتمی که در حوزه خوشه بندی فازی مطرح شده و مبنای شکل گیری سایر الگوریتم ها به حساب می آید.

1-5-3 خوشه بندی فازی C-میانگین [86-90]

این روش توسط بزدهک³³ پیشنهاد گردید و یک روش بسیار کارآمد برای خوشه بندی فازی داده ها و شکل گسترش یافته ای از خوشه بندی C-میانگین سخت است.

در این فرایند n داده به K خوشه تقسیم می شود و درجه عضویت برای هر داده ای که متعلق به هر خوشه ای می باشد تعلق می گیرد. از این دیدگاه "خوشه بندی سخت" می تواند قسمتی از حالت خوشه بندی فازی باشد. خوشه بندی فازی با استفاده از ضرایب تابع عضویت بین 0 و 1 می تواند در مشارکت داده ها در شکل گیری خوشه ها سهمی داشته باشد. تعداد مشارکت ها بر اساس تعداد گروه های خوشه بندی است. ساختار داخلی خوشه ها و ارتباط بین آنها می تواند بوسیله روش خوشه بندی فازی C-میانگین تعیین می شود. هدف الگوریتم فازی C-میانگین تعیین همه عناصر ماتریس افراز U می باشد. در خوشه بندی فازی C-میانگین فازی برای خوشه بندی n داده در C دسته یک تابع هدف، به صورت رابطه (3-13) تعریف می کنیم:

$$J_m(U, C) = \sum_{K=1}^n \sum_{i=1}^c (\mu_{ik})^m (d_{ik})^2 \quad (13-3)$$

به طوری که d_{ik} فاصله اقلیدسی بین مرکز خوشه i ام و داده k ام می باشد.

³¹ - Fuzzy clustering

³² - Spatial clustering

³³ - Bezdek

$$d_{ik} = d(x_k - C_i) = \left[\sum_{j=1}^m (x_{kj} - C_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad (14-3)$$

به طوری که μ_{ik} برابر درجه عضویت داده k ام به خوشه i ام می باشد. کمترین مقدار J_m مربوط به بهترین حالت خوشه بندی می باشد. مختصات مرکز خوشه از رابطه (15-3) بدست می آید.

$$c_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}^{m'} \cdot x_{kj}}{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}^{m'}} \quad (15-3)$$

m تعداد معیارهای تشابه یا ابعاد C_i و z متغیری برای نشان دادن فضای معیارها و m' میزان فازی بودن را در فرآیند کلاسه بندی مشخص می کند.

در این جا c -افراز فازی بهینه، زمانی بدست می آید که مقدار r در رابطه (16-3) مینیمم می گردد:

$$J_m^* = (\tilde{U}^*, \tilde{V}^*) = \min J(\tilde{U}, V) \quad (16-3)$$

الگوریتم کارامدی که توسط بزدک برای حل مسایل خوشه بندی فازی c -میانگین بر اساس بهینه سازی تکراری پیشنهاد گردیده ارائه خواهد شد.

گام 1: انتخاب تعداد خوشه C مورد نظر و مقدار اولیه ماتریس افراز U بطور تصادفی و انتخاب یک مقدار برای m'

$$U^{(l)} = [\mu_{hj}] , l=1, 1 \leq h \leq k$$



گام 3: مرکز خوشه ها $\{C_i^{(r)}\}$ را در هر تکرار محاسبه کنید



گام 4: ماتریس افراز را برای تکرار r ام، $\tilde{U}^{(r)}$ حساب کنید.

$$\text{for } I_k = \phi \quad \mu_{ik}^{(r+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^C \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}}\right)^{\frac{2}{m'-1}}}$$

$$I_k = \phi \quad \text{for all classes } i \text{ where } i \in \quad \mu_{ik}^{(r+1)} = 0$$

به طوری که:



گام 5: در صورتیکه $|\tilde{U}^{(l+1)} - \tilde{U}^{(l)}| \leq \epsilon$ باشد، به نتیجه مساعد

و مناسبی رسیده اید در اینصورت توقف کنید و در غیر اینصورت به گام 2

6-3 خوشه بندی ژنتیکی

عملگرهای ژنتیکی، به طور کلی برای کد گذاری راه حل‌های یک مساله به کار گرفته می‌شوند و روشی مطابق با انتخاب طبیعی را شبیه سازی می‌کنند. روشی که طبق آن راه حل‌ها کد گذاری می‌شوند، نقش به سزایی در کارایی یک الگوریتم ژنتیکی دارند. الگوریتم‌های ژنتیکی که به منظر خوشه بندی به کار گرفته می‌شوند، با تطبیق مراحل ارائه، توابع برآزش مناسب و نیز توسعه عملگرهای تکاملی مناسب به این کار مبادرت می‌ورزند

7-3 خوشه بندی بوسیله شبکه عصبی

این خوشه بندی به دو دسته با سرپرست و بدون سرپرست به منظور خوشه بندی به کار می‌رود. معمولاً یک شبکه عصبی از چند لایه ورودی و لایه‌های وزن و لایه خروجی تشکیل می‌شود. لایه ورودی به داده‌ها و اطلاعات سیستم بستگی داشته و بعد لایه‌های وزن نیز به لایه‌های ورودی و نوع آموزش مساله بستگی دارد. نوع به کارگیری شبکه عصبی با سرپرست و یا بدون سرپرست بستگی به آموزش شبکه عصبی، اطلاعات سیستم و شرایط خاص مساله دارد.

8-3 کیفیت خوشه بندی³⁴

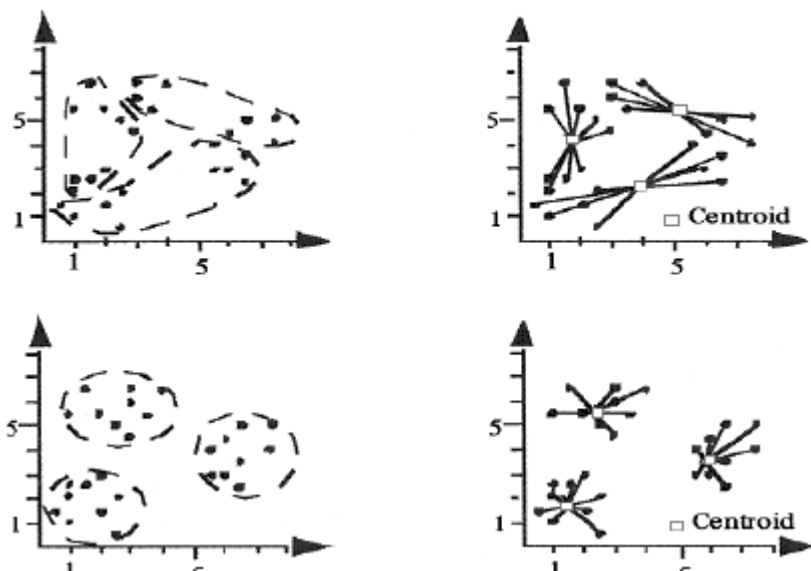
یک مساله در خوشه بندی انتخاب صحیح تعداد خوشه‌ها و کیفیت محدوده خوشه بندی است. این موضوع در اشکال ظاهری خوشه‌ها و همپوشانی داده‌ها در خوشه تاثیر گذار می‌باشد. شکل (7-3) به منظور درک بیشتر موضوع نشان داده شده است. این موضوع در مراجع [71-76] آمده است. چندین معیار خوشه بندی وجود دارد که هر کدام دارای نکات قوی و ضعیفی می‌باشد. بعضی از معیارهای متداول عبارتند از: مجذور جمع کل خطاها در خوشه بندی، شاخصه داوینس-بولدین³⁵ و ضریب پراکندگی³⁶ در خوشه بندی که در مراجع [71-76] مورد بررسی قرار گرفته شده است. از ضریب پراکندگی به منظور ارزیابی خوشه بندی در این پایان نامه استفاده شده است.

³⁴ - Clustering quality

³⁵ - Davies-Bouldin

³⁶ - Silhouetten value

همانطور که در شکل (7-3) نشان داده شده است بدترین جایگذاری داده ها در خوشه بندی با پراکنگی زیاد داده ها در خوشه ها همراه است و بهترین جایگذاری داده در خوشه بندی بر اساس فشردگی خوشه ها می باشد.



شکل (7-3) پراکنگی داده ها در کیفیت خوشه بندی

فصل چهارم

کاربرد روشهای خوشه بندی در چند ناحیه ای کردن سیستم قدرت بر اساس همپایی

1-4 مقدمه

در گذشته سیستم قدرت بر اساس موقعیت و اندازه اغتشاش به دو بخش داخلی و خارجی تقسیم شده اما اخیراً بر اساس روشهای خوشه بندی برای شبکه های خیلی بزرگ بخش خارجی به چندین قسمت و برای شبکه های معمول کل شبکه، به چندین بخش تقسیم می شود. تقسیم بندی شبکه بر اساس معیار همپایی تحت تاثیر موقعیت خطای سه فاز می باشد. روشهای مختلف خوشه بندی بر اساس میزان شباهت داده هایی که تحت تاثیر موقعیت و اندازه اغتشاش در شبکه بدست می آید، به کار می رود.

روشهای خوشه بندی بدون سرپرست، بر اساس تشابه رفتار زمانی نوسانات زاویه روتور دسته بندی می شوند به طوری که داده های متعلق به یک خوشه بر اساس معیار و ویژگی همپایی، بیشترین

شباهت را داشته باشد و همچنین داده های یک دسته با دسته دیگر بیشترین تفاوت ممکن را داشته باشد. در این پایان نامه، روشهای خوشه بندی بدون سرپرست، بر اساس معیار همپایی برای جداسازی سیستم قدرت به کار می رود. معیار همپایی از رفتار حوزه زمانی سرعت زاویه روتور ژنراتورها در شبیه سازی گذرای سیستم قدرت بدست می آید. معیار همپایی به عنوان ماتریس ورودی روشهای خوشه بندی به کار رفته است بیان شده است. در این پایان نامه، کاربرد روش خوشه بندی سلسله مراتبی، روشهای خوشه بندی سخت C-میانگین و خوشه بندی فازی C-میانگین فازی برای جداسازی شبکه براساس همپایی شبکه به کار رفته است. نتایج شبیه سازی روشهای خوشه بندی بدون سرپرست در شناسایی گروه های همپا آورده شده است. نتایج حاصل از هر یک از روشها نتایج یکسانی را در گروه بندی ژنراتورهای همپا دارد. همچنین رفتار شبیه سازی شبکه و رفتار معادلسازی کلاسیک شبکه مورد مطالعه قرار می گیرد سپس کاربرد خوشه بندی بدون سرپرست در چند ناحیه ای کردن سیستم قدرت مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

2-4 شبیه سازی معادلسازی کلاسیک

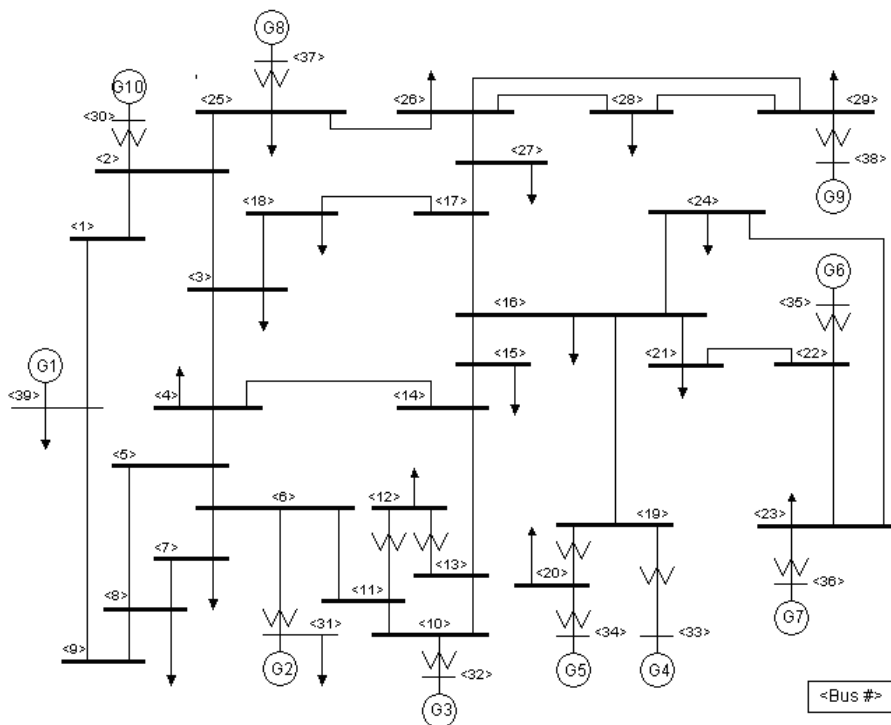
از آنجاییکه بعضی اوقات بر اثر اعمال خطای سه فاز ممکن است بعضی پارامترهای شبکه تغییر می کند و ممکن بعضی قسمتهای سیستم آسیب ببینند لذا لزوم معادلسازی دینامیکی از دید یک نیروگاه لازم به نظر می رسد. مثلا در شبکه ایران، بدلیل برخی تمایلات خاص و تمرکز خاصی که در مطالعات دینامیک بندرعباس وجود داشته است، شبکه جنوبی ایران از دیدگاه این نیروگاه معادلسازی شده است. معادلسازی شبکه خارجی از دید یک نیروگاه برای شبکه مورد مطالعه مفید است. در هر شبکه قدرت بایستی اطلاعات ایستگاههای قدرت از ژنراتورها گرفته تا کلیه اجزا مکانیکی، در یک مرکز و بطور مدرن و تائید شده جمع آوری و نگهداری شوند تا مطالعات و تصمیم گیریهای کلی روی شبکه به استناد این اطلاعات بوده و با قاطعیت دنبال شوند. ناگفته نماند که مناسب ترین وسیله در تکمیل این اطلاعات همانا بهره گیری از روش های شناسایی و معادلسازی دینامیکی است.

اساسا یک دلیل در انتخاب همپایی برای معادلسازی اجتناب، از نیازمندی به اطلاعات شبکه جهت معادلسازی است، اما برای اطمینان از صحت و دقت برنامه ریزی مدل کاهش یافته لازم است تا رفتار دینامیکی آنرا با رفتار دینامیکی واقعی شبکه که بر اساس اطلاعات کامل آن شبیه سازی می شود، مقایسه کنیم.

1-2-4 شبیه سازی معادلسازی شبکه 39 باسه نیوانگلند

در این قسمت با توجه به اعمال خطای سه فازی در نزدیکی باس 3 واقع در خط 3-4 شبکه 39 باسه نیوانگلند که دیاگرام خطی آن در شکل (1-4) آمده است. شبکه به دو بخش داخلی و خارجی، با توجه به موقعیت اغتشاش و تغییرات توان، تقسیم شده و نشان داده شده است که رفتار شبکه شبیه سازی

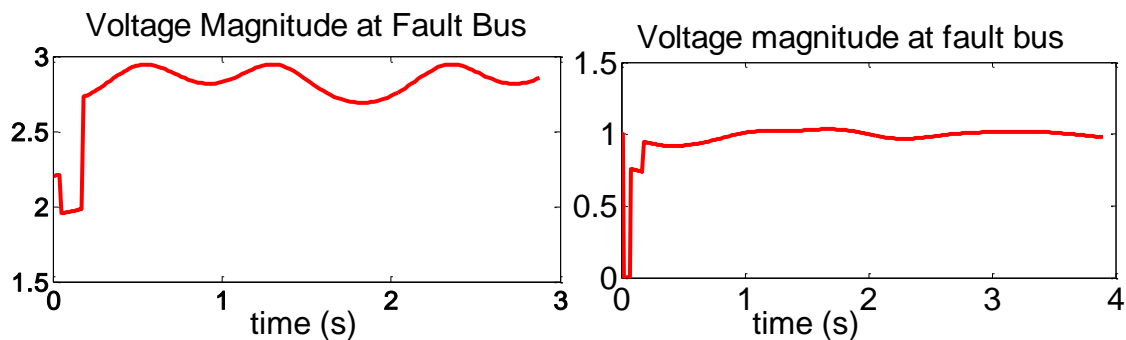
شده چند ماشینه و رفتار یکپارچه سازی شده ژنراتورها تقریبا یکسان می شود. در شکل (2-4) از رفتار دامنه ولتاژ در باس خطا می بینیم که شبکه اصلی و شبکه یکپارچه شده هر دو پایدارند.



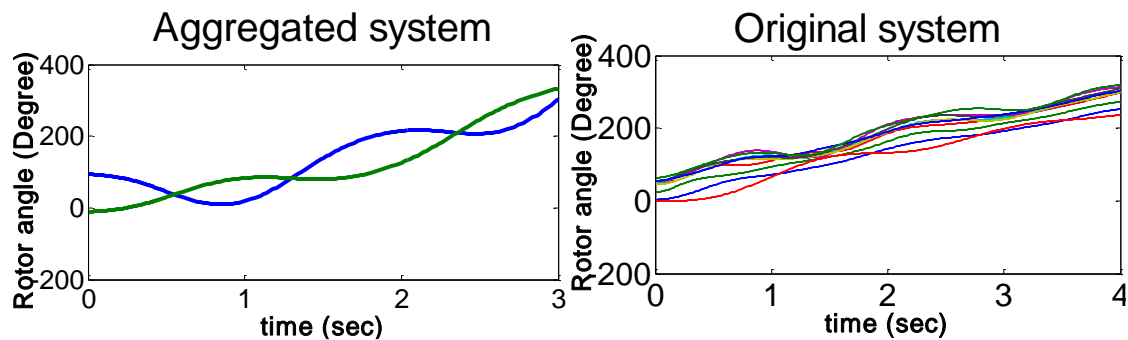
شکل (1-4) دیاگرام تک خطی شبکه تست 39 باسه و 10 ماشینه نیوانگلند [20]

در شکل (3-4) مشاهده می شود که رفتار زاویه روتور یکپارچه شده ژنراتورها نیز تقریبا با رفتار زاویه روتور کل شبکه همسانی دارد.

چنین مدلی برای مطالعات اولیه سیستم بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. البته چنین مدلی به طور دقیق بیانگر رفتار شبکه چند ماشینه نمی باشد ولی تا حدودی به پایداری یا ناپایداری شبکه می توان پی برد.



شکل (2-4) رفتار دامنه ولتاژ خطا در سیستم اصلی و سیستم معادلسازی شده



شکل (3-4) منحنی نوسانات زاویه روتور سیستم اصلی و سیستم معادلسازی شده

3-4 نتایج شبیه سازی برای روشهای خوشه بندی

معمولاً در خوشه بندی از یک ماتریس داده ها که بیانگر ویژگیهای فیزیکی سیستم می باشد استفاده می شود. به منظور ارزیابی نوسانات ژنراتورهای سیستم قدرت، در بخش 1-3-4 معیار همپایی معرفی شده است.

3-4 معیار همپایی

در این پایان نامه معیار همپایی با استفاده از تغییرات سرعت زاویه ای ژنراتورها بدست می آید. که این معیار که، ماتریس شباهت فازی در طول شبیه سازی زمانی پایداری گذرای سیستم چند ماشینه می باشد گروه های همپای ژنراتور را بر اساس اندازه و مکان اغتشاش تعیین کرده براین اساس تقسیم بندی مناسبی از شبکه بدست می آید. [45-40]

معیار همپایی از منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورها بدست می آید که بر اثر اعمال خطای سه فاز در موقعیت مختلفی از شبکه، داده های ماتریس شباهت فازی متفاوت می باشد. در ابتدا سرعت زاویه ای ژنراتورها که برابر تغییرات زمانی زاویه روتور ژنراتورها با استفاده از رابطه زیر به دست می آید.

$$\omega_i(t_k) = \frac{\delta_i(t_k) - \delta_i(t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}} \quad (1-4)$$

t_k نشان دهنده k امین نمونه زمانی می باشد.

سپس شاخص $Dist_{ij}$ برای هر جفت ژنراتور i و j بدست می آید.

$$Dist_{ij} \cong \sum_{t_k \in [0, T]} |\omega_i(t_k) - \omega_i(t_{k-1})| \quad (2-4)$$

رابطه (2-4) برای همه نمونه های زمانی t_k در کل پریود مورد مطالعه $[0, T]$ به کار برده می شود. شاخصه $Dist_{ij}$ نرمالیزه شده تا شاخص $Dnorm_{ij}$ ایجاد شود.

$$Dnorm_{ij} \cong \frac{Dist_{ij}}{\max(Dist_{ij})} \quad (3-4)$$

سز انجام، معیار همپایی در رابطه (4-4) بدست می آید:

$$(4-4)$$

$$Coh_{ij} = 1 - Dnorm_{ij}$$

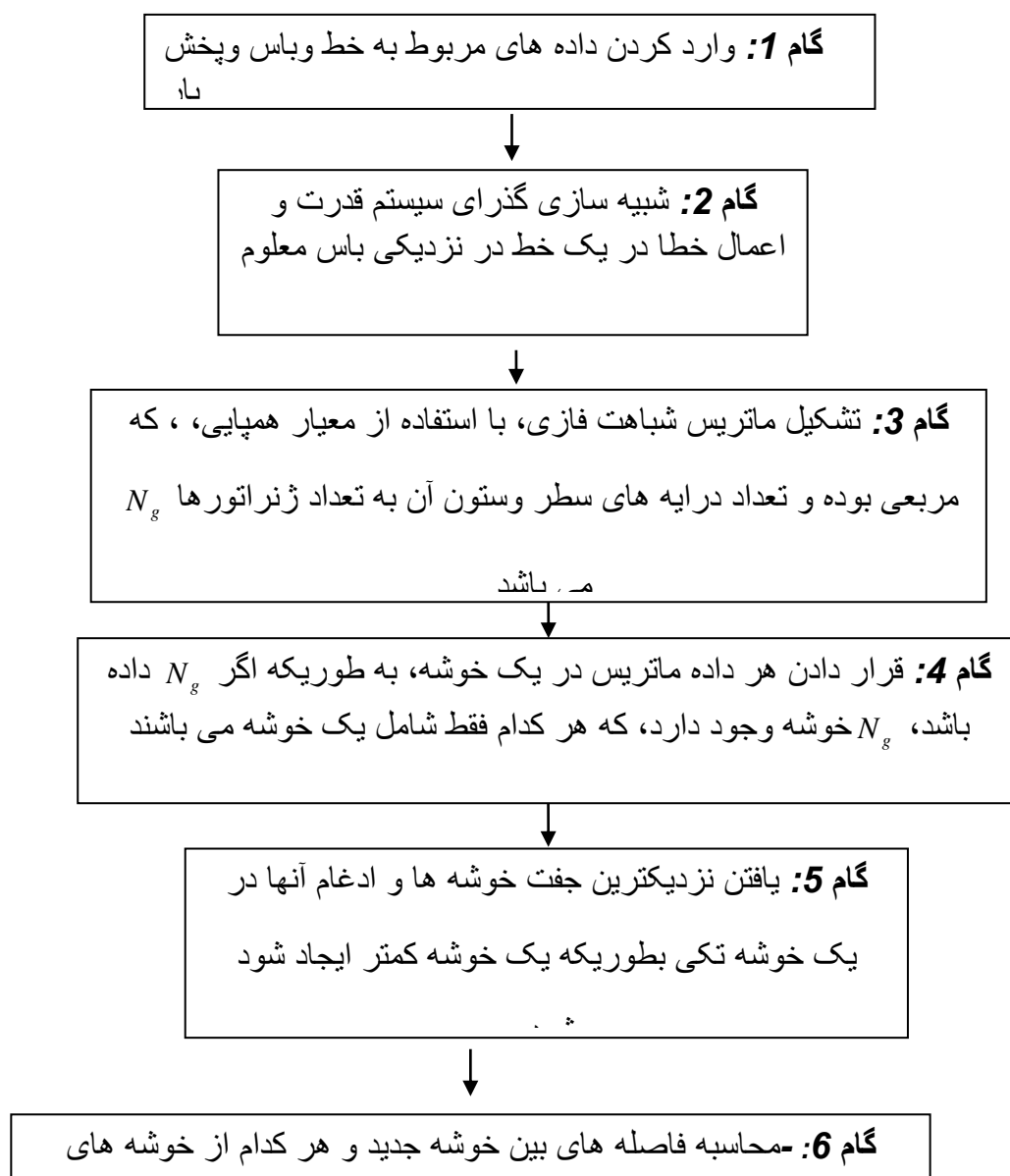
که $0 \leq Coh_{ij} < 1$ ، $Coh_{ii} = 1$ ، $Coh_{ij} = Coh_{ji}$ می باشد. میزان شباهت ژنراتورها با مقادیر بین صفر و یک نشان داده شده است و هر چه به یک نزدیکتر باشد میزان شباهت بیشتر است. در این فصل با ماتریس شباهت فازی، روشهای مختلف خوشه بندی اعم از خوشه بندی سلسله مراتبی، خوشه بندی K-میانگین (بر اساس معیار همپایی) شبکه را به چندین بخش مناسب تقسیم بندی کرده و گروههای همپا را شناسایی می کند.

4-4 کاربرد خوشه بندی سلسله مراتبی به منظور شناسایی ژنراتورهای

همپا

اساس این روش خوشه بندی این است که نمونه های خیلی شبیه به هم در یک گروه قرار گیرند. خوشه بندی سلسله مراتبی با استفاده از بردار فاصله، ژنراتورها را گروه بندی می کند. اساس روش بر اساس انتخاب ماتریس داده، انتخاب معیار شباهت و تعداد خوشه ها می باشد خوشه بندی سلسله مراتبی همه فاصله های نمونه ها را در فضای چند بعدی محاسبه می کند. [46-50]

روش خوشه بندی سلسله مراتبی با قابلیت نمایش گروه های همپا در دندروگرام به صورت درختی به نحو مناسبی گروه های همپا را در بخش های مختلف، بر اساس معیار همپایی قرار می دهد. بریده شدن شاخه های دندروگرام بر اساس میزان شباهت گروه های کوچکتر ژنراتور مطابق معیار همپایی می باشد. الگوریتم کلی خوشه بندی سلسله مراتبی به صورت فلوجارت شکل (4-4) می باشد





گام 7: تکرار گام 2 و 3 تا زمانی که همه نمونه ها در یک خوشه تکی با اندازه N_g خوشه بندی شوند

شکل (4-4) فلوجارت شناسایی گروه های همپای ژنراتوری توسط خوشه بندی سلسله مراتبی

گام 6 می تواند به چندین روش مختلف خوشه بندی تک پیوندی³⁷، پیوند کامل³⁸ و پیوند میانگین³⁹ انجام شود که در جدول (3-1) ضرایب آنها بیان شده است. در خوشه بندی تک پیوندی، فاصله بین یک خوشه و خوشه دیگر برابر کوتاهترین فاصله از هر عضو یک خوشه تا هر عضو خوشه دیگر می باشد، شباهت بین یک خوشه و خوشه دیگر برابر بیشترین شباهت از هر عضو یک خوشه تا هر عضو خوشه دیگر می باشد. در خوشه بندی پیوند کامل فاصله بین یک خوشه و خوشه دیگر بزرگترین فاصله از هر عضو یک خوشه تا هر عضو خوشه دیگر می باشد و در خوشه بندی پیوند میانگین، فاصله بین هر خوشه و خوشه دیگر برابر میانگین فاصله از هر عضو یک خوشه تا خوشه دیگر می باشد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع ترین سیستمهای طراحی شده برای تصمیم گیری در معیارهای مختلف سیستم قدرت است. در این تکنیک امکان فرموله کردن مسایل سیستم قدرت را بصورت سلسله مراتبی فراهم می کند. در این فرآیند نیروگاه های مختلف را در تصمیم گیری دخالت داده و تقسیم بندی نیروگاه ها بر اساس مقایسه نوسانات خروجی زاویه روتور انجام می شود به بیان دیگر رتبه بندی ژنراتورها، به صورت یک درخت می باشد که دندروگرام⁴⁰ نامیده می شود. در صورت تقسیم بندی شبکه به k خوشه، $k-1$ بلندترین سطح شاخه از دندروگرام درختی بریده می شود.

فرآیند خوشه بندی شبکه اختصاراً بوسیله دیاگرام درختی نشان داده می شود.

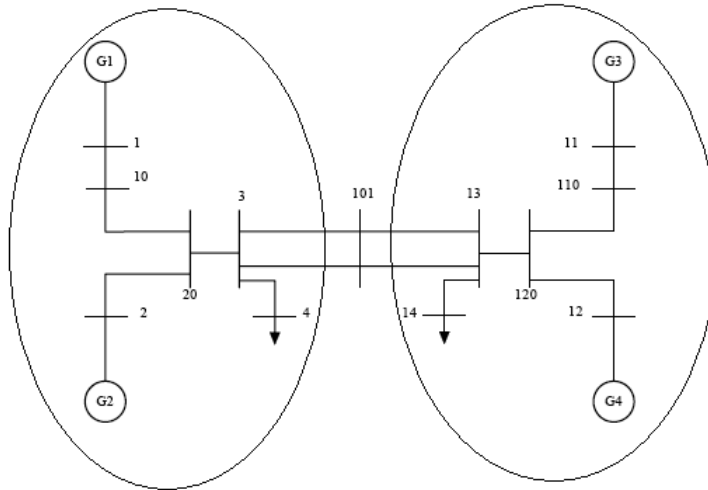
بعنوان یک مثال ساده، یک سیستم قدرت دو ناحیه ای در شکل (4-5) نشان داده شده است. نتیجه تقسیم بندی خوشه بندی سلسله مراتبی بوسیله دندروگرام آن در شکل (4-6) نشان داده شده است.

³⁷ - Single linkage

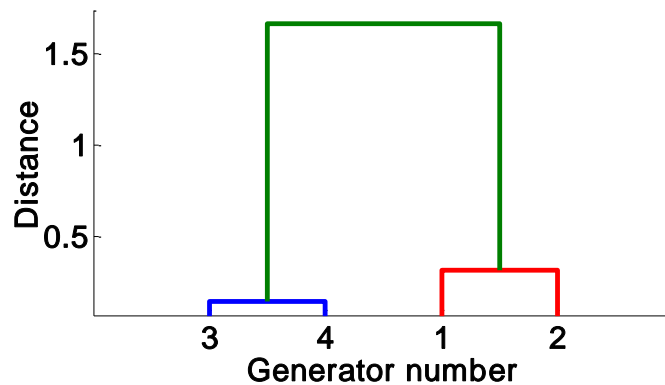
³⁸ - Complete linkage

³⁹ - Average linkage

⁴⁰ - Dendodiagram



شکل (5-4) شبکه دو ناحیه ای



شکل (6-4) دندروگرام شبکه دو ناحیه ای

نتایج شبیه سازی بر روی دو شبکه 39 باسه، 10 ژنراتور نیوانگلند و شبکه تست 68 باسه 16 ژنراتور IEEE آورده شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که به کار گیری روشهای خوشه بندی بدون سرپرست به نحو مطلوبی سیستم قدرت را به تعداد دلخواه تقسیم بندی می کند.

1-4-4 شبیه سازی عددی خوشه بندی سلسله مراتبی در شبکه 39 باسه

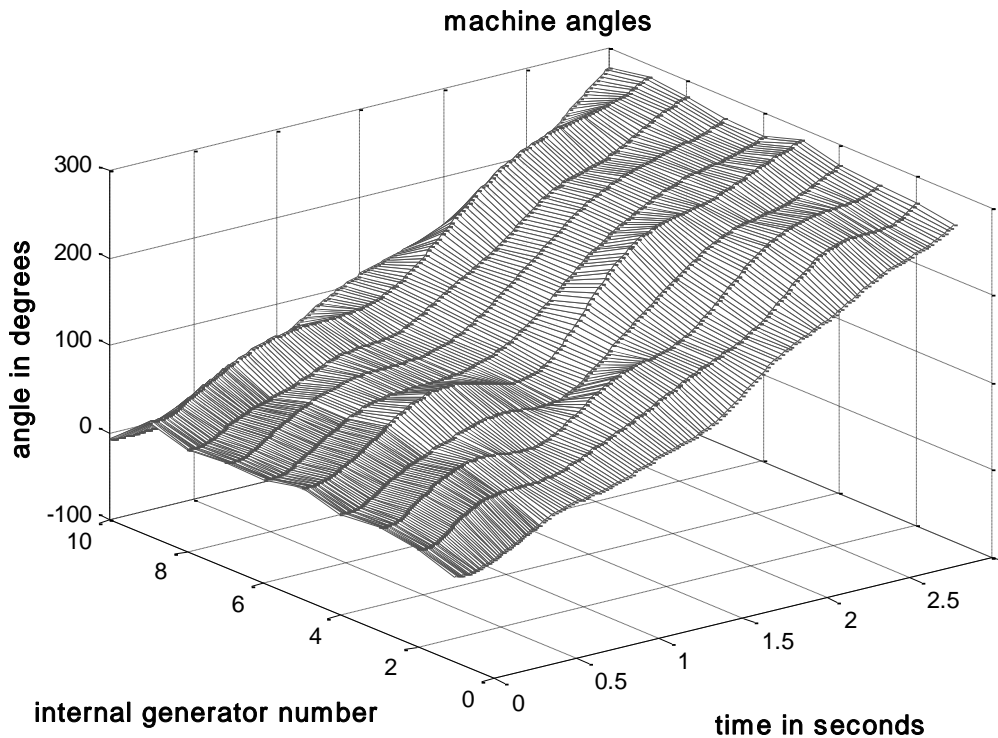
در این قسمت نتایج شبیه سازی روش خوشه سازی سلسله مراتبی بر روی سیستم تست 10 ماشینه و 39 باسه نیوانگلند که دیاگرام تک خطی آن در شکل (1-4) نشان داده شده است. می خواهیم در این سیستم ژنراتورهای همپا را به ازای دو محل مختلف خطا تعیین نماییم. به عنوان اولین خطا فرض می کنیم خطای سه فاز به زمینی نزدیک باس 3 در خط 3-4 رخ می دهد زمان رفع خطا، 0/25 ثانیه می باشد که با باز شدن خط بین باس 3 و باس 4 انجام می گیرد. زمان شبیه سازی 3 ثانیه می باشد. نمایش سه بعدی منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورها بر اثر اغتشاش وارد شده، در شکل (4-4)

7) نشان داده شده است. و نمایش دو بعدی این نوسانات در شکل (8-4) نشان داده شده است. ماتریس شباهت فازی که معیار همپایی ژنراتورها (Coh_{ij}) می باشد، در جدول (1-4) آمده است.

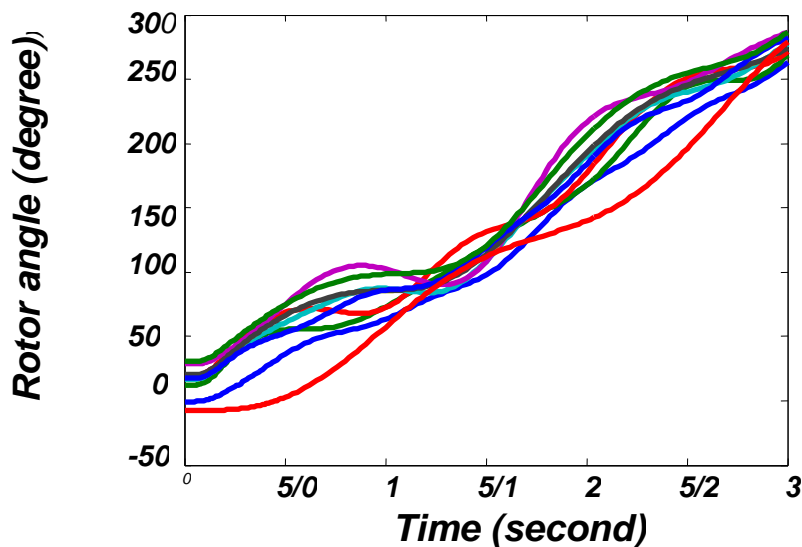
جدول (1-4)-ماتریس شباهت فازی با اعمال خطا در نزدیکی باس 3 و خط 3-4

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.5286	0.476	0.6151	0.4745	0.7253	0.6984	0.6308	0.6955	0.3999
2	0.5286	1	0.6846	0.483	0.1533	0.5315	0.5396	0.5061	0.4848	0.2389
3	0.476	0.6846	1	0.3924	0.1105	0.5097	0.512	0.4478	0.4367	0.155
4	0.6151	0.483	0.3924	1	0.6156	0.7803	0.8259	0.7326	0.844	0.1717
5	0.4745	0.1533	0.1105	0.6156	1	0.5923	0.5869	0.4543	0.6413	0
6	0.7253	0.5315	0.5097	0.7803	0.5923	1	0.9341	0.6549	0.8818	0.1723
7	0.6984	0.5396	0.512	0.8259	0.5869	0.9341	1	0.7055	0.8892	0.1796
8	0.6308	0.5061	0.4478	0.7326	0.4543	0.6549	0.7055	1	0.6793	0.3582
9	0.6955	0.4848	0.4367	0.844	0.6413	0.8818	0.8892	0.6793	1	0.1969
10	0.3999	0.2389	0.155	0.1717	0	0.1723	0.1796	0.3582	0.1969	1

همانطور که در جدول دیده می شود این ماتریس مقارن بوده و تمام عناصر آن اعداد بین صفر و یک می باشد که این عدد به صورت فازی، درجه همپایی بین ژنراتورها را نشان می دهد. در قطر اصلی ماتریس عدد یک می باشد که آن بدلیل آن است که ژنراتور با خودش کاملا همپا یا مشابه می باشد. هر چه عدد به صفر نزدیکتر باشد بیانگر آنست که ژنراتور آن سطر نسبت به ژنراتور ستون شباهت کمتری دارد. روش خوشه بندی سلسله مراتبی با استفاده از این ماتریس ژنراتورهای همپای شبکه را شناسایی می کند.



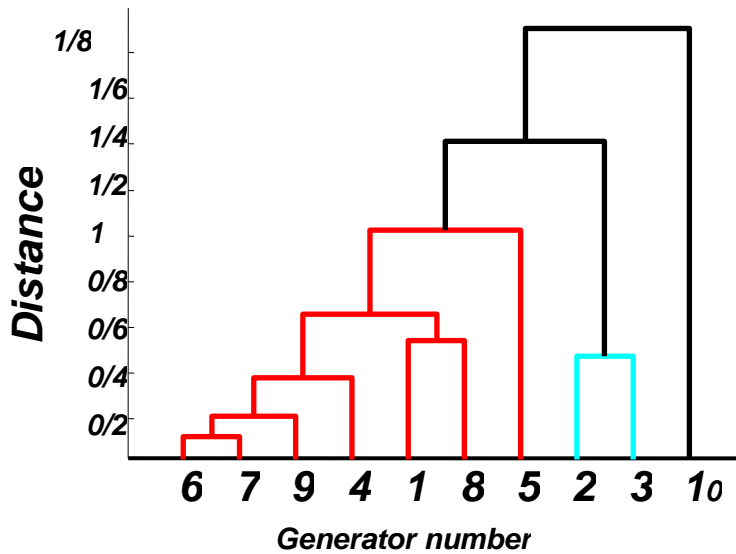
شکل (7-4) نمایش سه بعدی منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورها به ازای اتصال کوتاه در باس 3



شکل (8-4) نمایش دو بعدی منحنی های نوسانات زاویه روتور ژنراتورها به ازای اتصال کوتاه در باس 3

دندروگرام درختی که از منحنی نوسانات زاویه روتور در شبیه سازی گذرای سیستم قدرت بر اساس ماتریس شباهت بدست آمده در شکل (9-4) نشان داده شده است. در دندروگرام درختی، هر شاخه درخت در مرحله k ام مطابق با تقسیم بندی $N_g - K + 1$ خوشه می باشد. اگر احتیاج باشد شبکه به

K خوشه تقسیم شوند خوشه بندی از مرحله $N_g - K + 1$ آورده می شود. اگر ژنراتورها در خوشه مشابه در مرحله K ام باشد، آنها در مراحل بالاتر در خوشه مشابه می مانند. بریده شدن شاخه های دندروگرام بر اساس میزان شباهت گروه های کوچکتر ژنراتور می باشد. در جدول 2 نتایج خوشه بندی برای تعداد گروه های مختلف، به منظور شناسایی گروه های همپای کوچکتر با اتصال کوتاه سه فاز نزدیک باس 3 در خط 3-4 آورده شده است. حسن استفاده از این روش، نمایش تقسیم بندی گروه های همپا به گروه های همپای کوچکتر است. گروه های همپای کوچکتر خاصیت همپایی بیشتری نسبت به سایر ژنراتورها در همان گروه دارند. به طور کلی برای تقسیم بندی شبکه با توجه به دندروگرام بالاترین سطح دندروگرام بریده می شود.

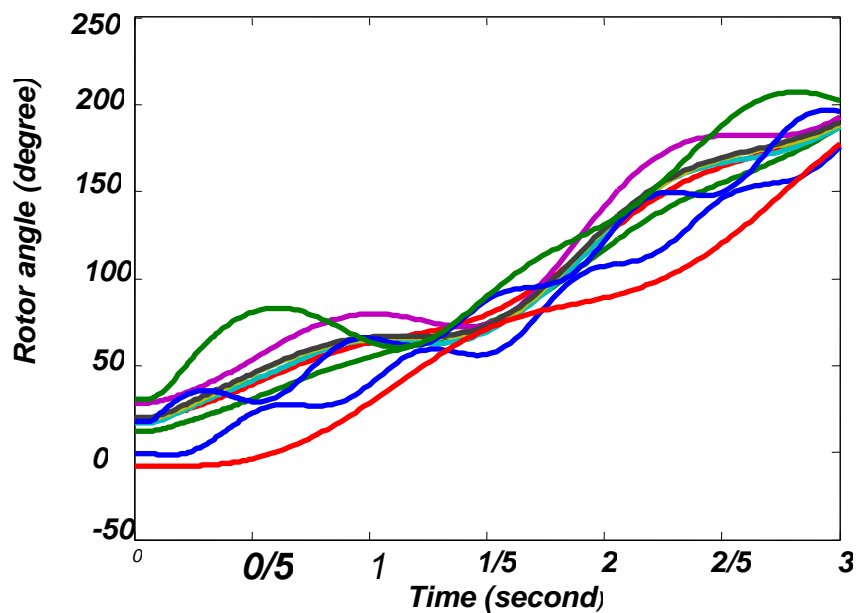


شکل (9-4) دندروگرام ژنراتورهای شبکه با اعمال خطا در نزدیکی باس 3 و خط 3-4

جدول (2-4)-نتایج خوشه بندی سلسله مراتبی برای گروه بندی مختلف شبکه با اعمال خطا در نزدیکی باس 3

Number of clusters	Generator groups
4	(1,4,6,7,8,9),(2,3),(5),(10)
5	(1,8),(2,3),(4,6,7,9),(5),(10)
6	(1),(2,3),(4,6,7,9),(5),(8),(10)

به عنوان دومین خطا، فرض می کنیم اتصال کوتاه سه فاز نزدیک باس 25 در خط 25-26 رخ دهد. زمان رفع خطا 0.1 ثانیه می باشد که با باز شدن خط انجام می گیرد. منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورها در شکل (10-4) آمده است.

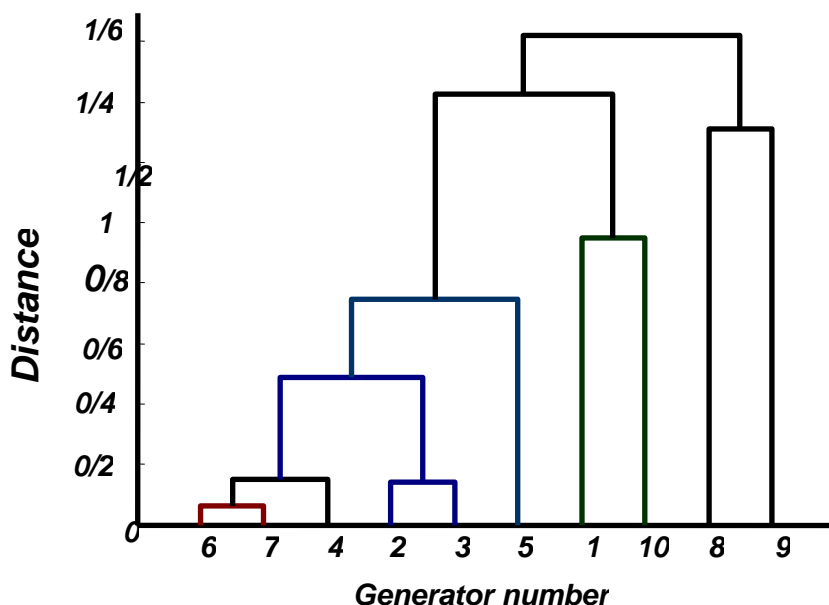


شکل (4-10) منحنی نوسانات زاویه روتور نزدیک باس 25 در خط 25-26

جدول (4-3)-ماتریس شباهت فازی با اعمال خطا در نزدیکی باس 25 و خط 25-26

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.5572	0.5545	0.4662	0.4271	0.5296	0.5053	0	0.214	0.413
2	0.5572	1	0.9389	0.7785	0.6189	0.7894	0.7961	0.4115	0.3421	0.5791
3	0.5545	0.9389	1	0.8258	0.6705	0.8343	0.8398	0.3854	0.3416	0.5271
4	0.4662	0.7785	0.8258	1	0.8007	0.9166	0.9401	0.3725	0.3528	0.3631
5	0.4271	0.6189	0.6705	0.8007	1	0.7997	0.791	0.2256	0.2317	0.2138
6	0.5296	0.7894	0.8343	0.9166	0.7997	1	0.9681	0.3247	0.379	0.3718
7	0.5053	0.7961	0.8398	0.9401	0.791	0.9681	1	0.3534	0.3819	0.3765
8	0	0.4115	0.3854	0.3725	0.2256	0.3247	0.3534	1	0.1031	0.3226
9	0.214	0.3421	0.3416	0.3528	0.2317	0.379	0.3819	0.1031	1	0.109
10	0.413	0.5791	0.5271	0.3631	0.2138	0.3718	0.3765	0.3226	0.109	1

در این حالت ماتریس شباهت فازی تغییر کرده و به دنبال آن دندروگرام نیز تغییر می کند.



شکل (4-11) دندروگرام ژنراتورهای شبکه با اعمال خطای سه فاز در نزدیکی باس 25 و خط 26-25

نوع و موقعیت خطا در این ماتریس تاثیر گذار است و در نتیجه تقسیم بندی شبکه با توجه به موقعیت های گوناگون خطا متفاوت است.

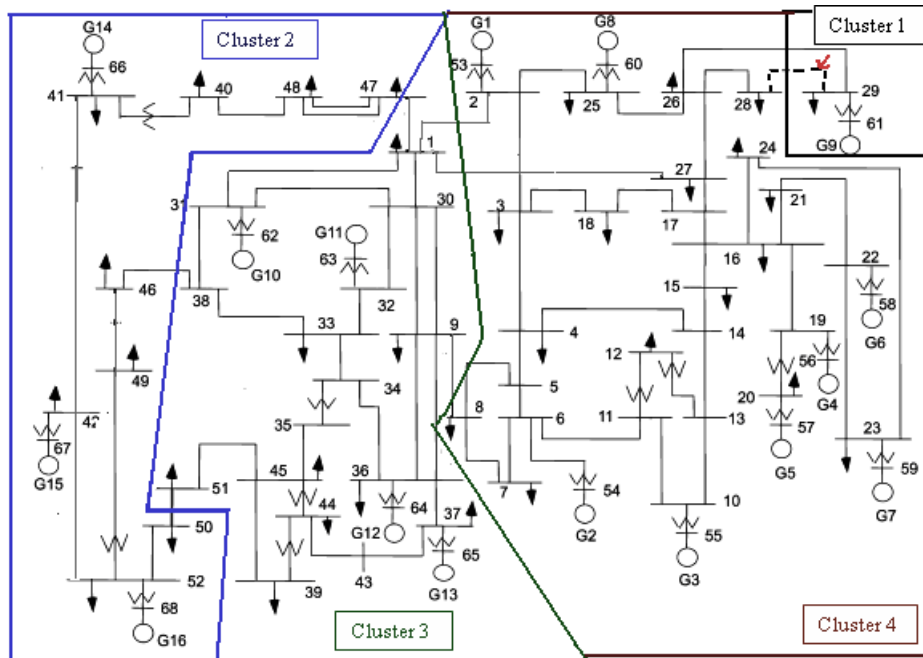
جدول (4-4)-نتایج خوشه بندی سلسله مراتبی برای گروه بندی مختلف با اعمال خطای سه فاز در نزدیکی باس 25

Number of clusters	Generator groups
4	(1,10),(2,3,4,5,6,7),(8),(9)
5	(1),(2,3,4,5,6,7),(8),(9),(10)
6	(1),(2,3,4,6,7),(5),(8),(9),(10)

4-4-2 شبیه سازی عددی خوشه بندی سلسله مراتبی در شبکه 68 باسه

در این بخش نتایج شبیه سازی عددی خوشه بندی سلسله مراتبی بر شبکه 68 باسه نیوانگلند بیان می شود. دیاگرام تک خطی این شبکه در شکل (4-12) نشان داده شده است. اتصال کوتاه سه فاز به زمینی نزدیک باس 29 در خط 28-29 رخ داده و به مدت 0/25 ثانیه هم ادامه داشته، که با باز شدن خط بین باس 28 و باس 29 رفع می شود. نتایج خوشه بندی سلسله مراتبی در شکل (4-13) به

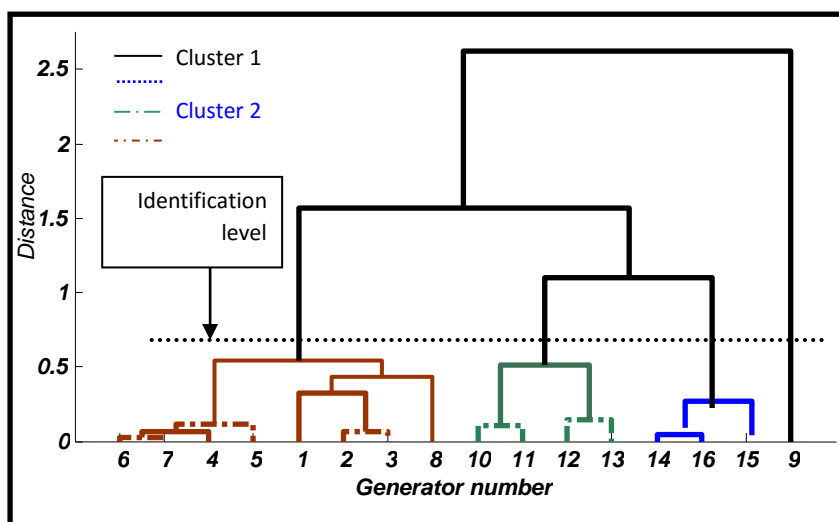
صورت دندروگرام درختی آورده شده است همانطور که بیان شد از محاسن این خوشه بندی آنست که با این دیاگرام، قابلیت نمایش تعداد دلخواه گروه های همپا را با جابجایی سطح شناسایی در سطوح مختلف را دارد. دوم آن که این دیاگرام هر گروه ژنراتوری را به زیر گروه هایی که از لحاظ همپایی شباهت بیشتری دارند تقسیم می کند.



شکل (4-29) تقسیم بندی شبکه 68 باسه به چهار گروه همپا

در دندروگرام در صورت تقسیم بندی شبکه به N_g خوشه $N_g - 1$ از بلندترین سطح این سطح بریده می شود. این سطح، سطح شناسایی⁴¹ گروه های همپا می باشد. در شکل (4-13) دندروگرام برای گروه بندی شبکه 16 ماشینه نمایش داده شده است. برای تقسیم بندی سیستم قدرت به 4 بخش سطح شناسایی مطابق شکل (4-13) می باشد.

⁴¹ - Identification level



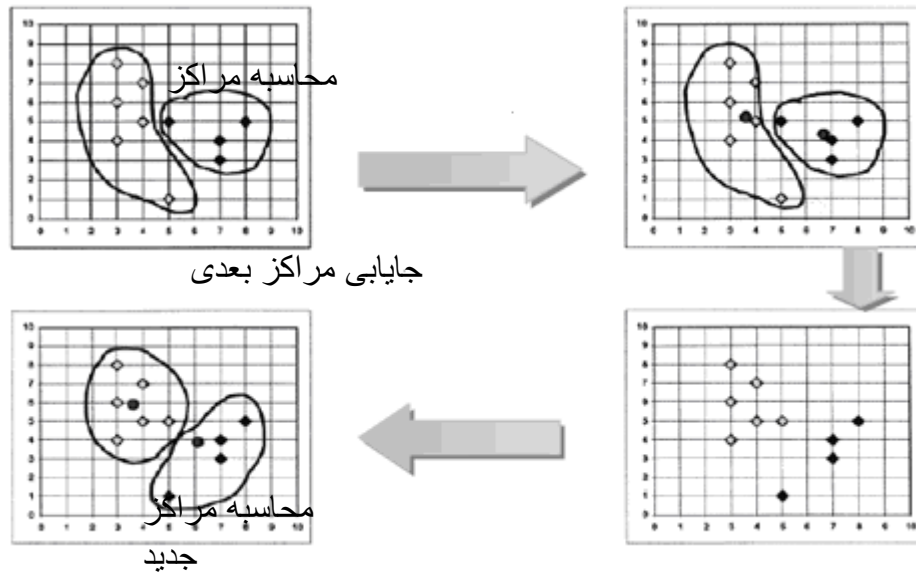
شکل (4-13) دندروگرام درختی ژنراتورهای شبکه 68 باسه نیوانگلند به ازای اعمال خطا نزدیک باس 29 واقع در خط 29-28

-میانگین به منظور شناسایی ژنراتورهای همپا 4-5 کاربرد خوشه بندی

یکی از روش های بسیار کارآمد خوشه بندی، روش K-میانگین می باشد. این نوع خوشه بندی به خوشه بندی سخت نیز معروف است. در این خوشه بندی ژنراتورهای واقع در هر گروه بیشترین شباهت را از نظر عملکرد نوسانات خروجی زاویه روتور با یکدیگر داشته و با ژنراتورهای گروه دیگر بیشترین تفاوت را دارند. [55-60] در این روش میزان پراکندگی داده های ماتریس معیار همپایی شبکه با یک نمودار هیستوگرام نشان داده می شود که بیانگر آنست که داده ها به چه میزان در خوشه ها پراکنده شده است.

4-5-1 فرآیند خوشه بندی K-میانگین

ژنراتورها براساس مرکز خوشه ها با ژنراتورهای دیگر درسیستم مقایسه می شوند و ژنراتورها براین اساس در یکی از خوشه ها قرار می گیرند. الگوریتم های خوشه بندی براساس مینیم کردن مجذور فواصل خوشه بوسیله میانگین کردن یک فرآیند تکراری یا بهینه کردن فرآیند صورت می گیرد. این فرآیند در شکل (4-14) به صورت فرآیندی با تکرار آمده است.

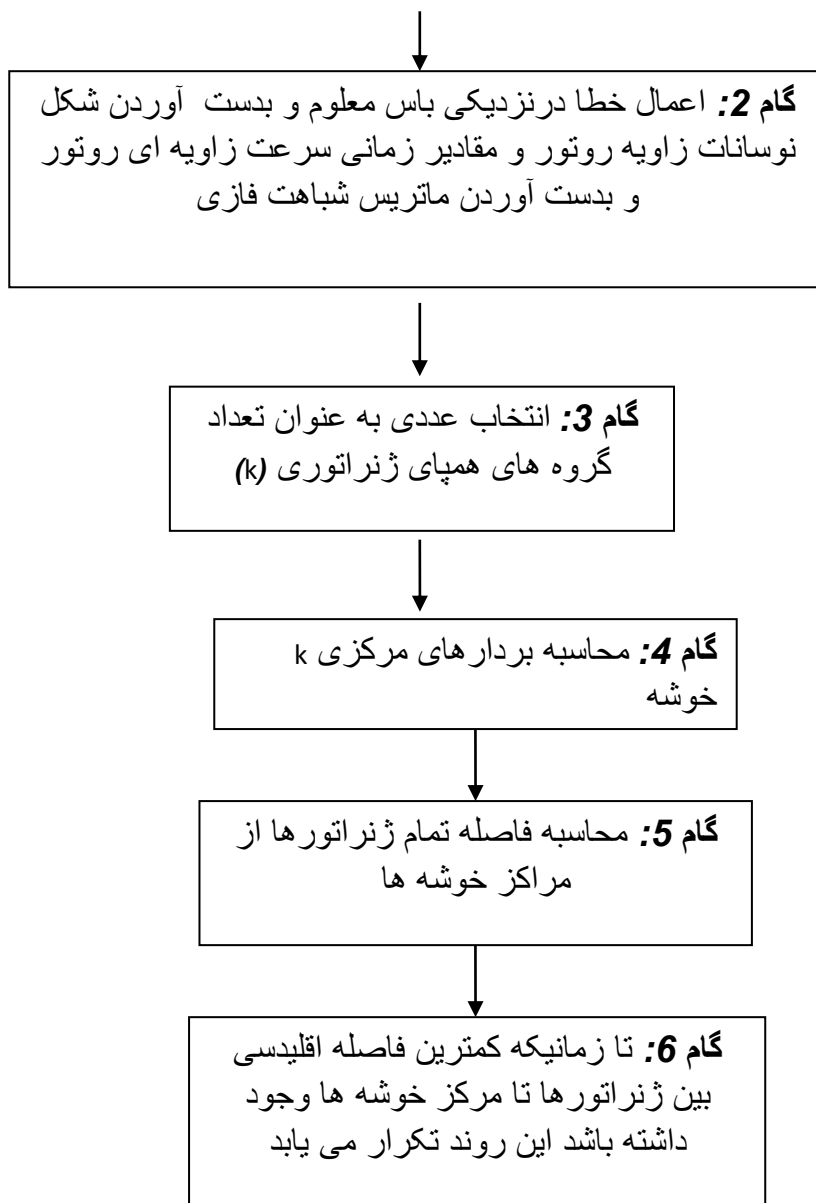


شکل (4-14) طرح بیان شده روش تکرار و ساختار محدوده ها یا ژنراتورهای مرجع در فرآیند خوشه بندی [77]

محدوده فاصله بین گروه ژنراتور و ژنراتور مرجع بصورت رفتار زمانی گروه های خوشه بندی در شکل زیر آمده است. در فرآیند خوشه بندی، داده ها در چند بعد فضایی به تعدادی از خوشه ها قرار می گیرند.

در این روش مینیمم کردن جذر فاصله خوشه در فرآیندی با تکرار، ژنراتورها می توانند به نزدیکترین خوشه قرار گیرند. الگوریتم شناسایی گروه های ژنراتوری همپا توسط خوشه بندی K- میانگین به صورت فلوجارت شکل (4-15) است.

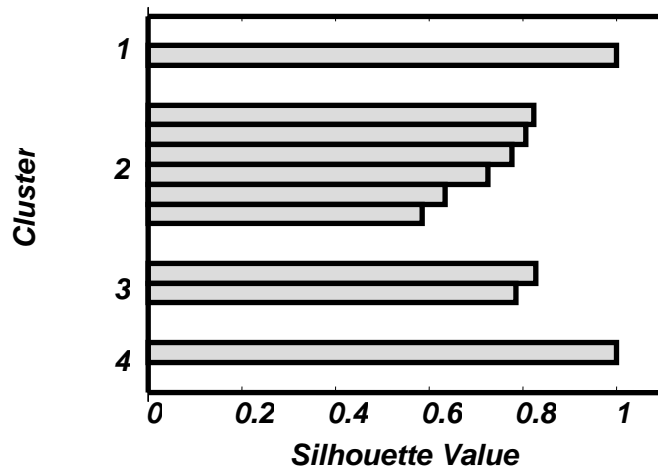
گام 1: وارد کردن داده های مربوط به خط و باس (داده های اولیه) و پخش بار



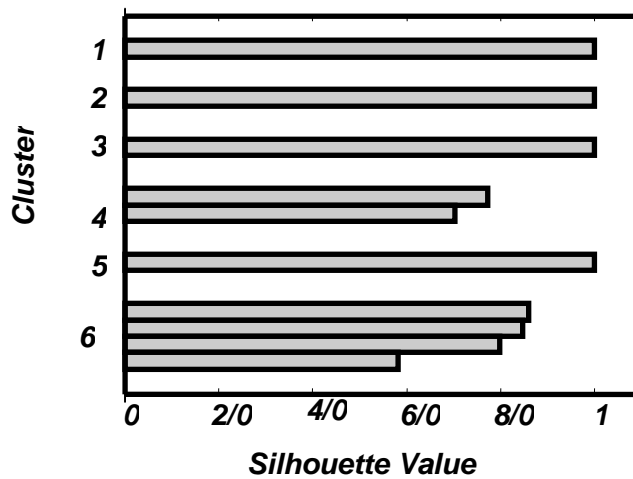
شکل (15-4) فلوجارت شناسایی گروه های همپا به روش خوشه بندی K-میانگین

در شکل (16-4) میزان پراکندگی داده ها با استفاده از معیار خوشه بندی زیر، برای خطا نزدیک باس 3 در خط 3-4 برای چهار گروه و در شکل (17-4) برای شش گروه به صورت میله های افقی نشان داده شده است. معیار اندازه گیری زیر برای آنست که میزان همسایگی داده های واقع در هر خوشه مشخص شود. هرچه که نقاط به یک نزدیکتر باشد داده ها بیشتر در آن خوشه واقع شده و اگر نقاطی بین صفر و منفی یک باشند به معنای آنست که آن نقاط داده به اشتباه خوشه بندی شده اند. همانطور که در شکل های زیر مشاهده می شود هیچ مجموعه نقاط از ماتریس شباهت فازی به اشتباه خوشه بندی نشده اند. در شکل (18-4) پراکندگی داده ها با نقاطی در هر درایه ماتریس شباهت فازی

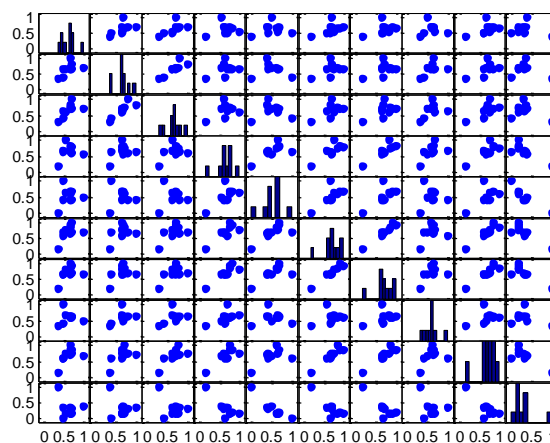
نشان داده شده است. در روی قطر اصلی نمودار هیستوگرام این داده ها نمایش داده شده است. که میزان تراکم داده ها در هر سطر و ستون ماتریس شباهت فازی را نشان می دهد.



شکل(4-16) میزان پراکنندگی داده ها در 4 گروه با اعمال خطا نزدیک باس 3



شکل(4-17) میزان پراکنندگی داده ها در 6 گروه با اعمال خطا نزدیک باس 3



شکل (18-4) پراکندگی داده های ماتریس شباهت فازی

جدول (5-4)-نتایج خوشه بندی K-میانگین برای چهار و شش گروه بندی در اتصال کوتاه نزدیک باس 3
خط 4-3

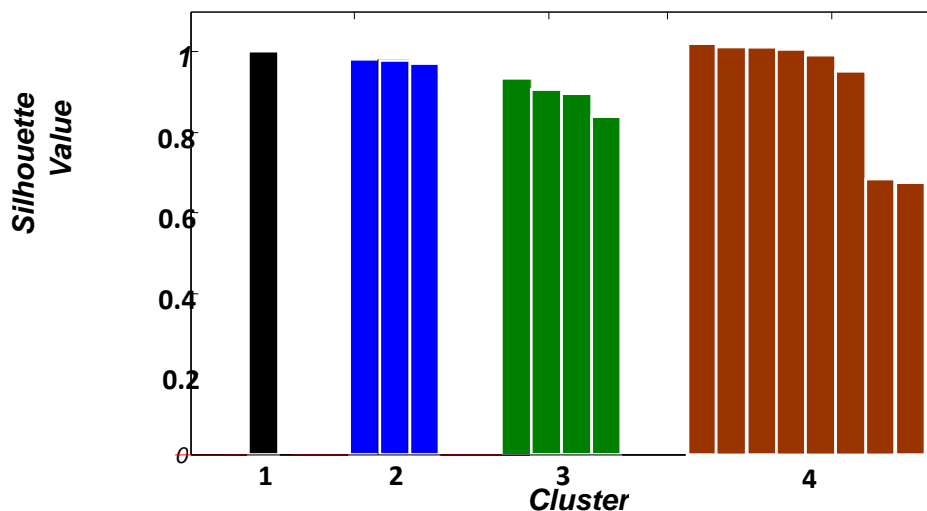
Number of clusters	Generator groups
4	(2,3),(4,6,7,9),(5),(10)
6	(1),(2,3),(4),(6,7,9),(5),(8),(10)

جدول (6-4)-نتایج خوشه بندی K-میانگین برای گروه بندی مختلف در اتصال کوتاه نزدیک باس 25
خط 26-25

Number of cluster	Generator groups
4	(1,10),(2,3,4,5,6,7),(8),(9)
5	(1),(2,3,4,5,6,7),(8),(9),(10)
6	(1),(2,3,4,6,7),(5),(8),(9),(10)

2-5-4 نتایج شبیه سازی عددی در شبکه 68 باسه

در تقسیم بندی شبکه 68 باسه، به چهار بخش میزان پراکندگی داده های ژنراتورها در هر خوشه به شکل نمودار میله ای نمایش داده شده است که محور افقی بیانگر تعداد خوشه های شبکه بوده که هر خوشه شامل یک یا چندین ژنراتور می باشد. محور عمودی به منزله تراکم داده های هر ژنراتور در هر گروه است. نتایج در شکل (4-19) نمایش داده می شود.



6-4 کاربرد روش خوشه بندی فازی C-میانگین به منظور شناسایی ژنراتورهای همپا

بر اساس نتایج پاسخ حوزه زمانی، ژنراتورهایی که پاسخ زمانی مشابه دارند به عنوان ژنراتورهای همپا شناسایی می شوند. همانطور که بیان شد، شناسایی ژنراتورهای همپا در ابتدای کار با بدست آوردن پاسخ منحنی هر ژنراتور در طول حالت گذرای سیستم و سپس پردازش این منحنی ها، با استفاده از الگوریتم خوشه بندی برای تعیین گروه های همپا به کار می رود. ژنراتورهای متعلق به یک گروه همپای مشخص بایستی منحنی های پاسخ مشابه هم بعد از یک اغتشاش در سیستم داشته باشند.

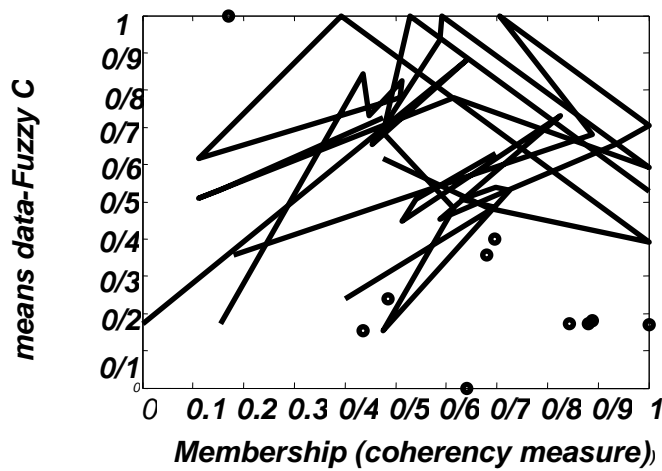
در اینجا با استفاده از معیار اندازه گیری همپایی، الگوریتم های خوشه بندی برای شناسایی ژنراتورهای همپا استفاده شده است. معیار همپایی در طول شبیه سازی گذرای سیستم بیانگر رفتار بین ژنراتورها می باشد و در ظرفیت گروه بندی ژنراتورها برای شناسایی همپایی، با استفاده از روشهای خوشه بندی موثر می باشد. مفاهیم فازی در تحلیل خوشه بندی داده، می تواند طبیعتاً در طبقه بندی پایداری، همپایی و مسایل دیگر سیستم های قدرت موثر باشد.

الگوریتم فازی C-میانگین بر اساس خوشه بندی فازی و با استفاده از فاصله اقلیدسی شبکه را به بخشهای مساعدی تقسیم می کند و داده هر گروه را در مراکز خوشه ها قرار می دهد. بر اساس معیار شباهت داده ها، داده ها به مراکز مختلف خوشه ها اختصاص می یابد. هر یک از مراکز خوشه ها محاسبه شده جایگزین جایگاه داده اصلی در خوشه داده شده، می شود. نتایج خوشه بندی فازی C-میانگین فضای ورودی و رفتار داده ها را توصیف می کند. برای هر خوشه، الگوریتم خوشه بندی داده ها با توجه به موقعیت مراکز خوشه ها جایگزین می شود. تحت تعداد خوشه های مختلف توصیف شده، عضوهای جدید محاسبه شده (مراکز خوشه) و برای هر داده جایگاهی را در شبکه تعیین می کند. رفتار دینامیکی سیستم بوسیله پاسخ حوزه زمانی تعیین شده و معیار همپایی Coh_{ij} بعد از اغتشاش و بوسیله منحنی نوسانات ژنراتورها تعیین می شود. روش خوشه بندی بکار گرفته در ابتدا بانرمالیزه کردن معیار اندازه گیری همپایی محاسبه شده و سرانجام مراکز جدید خوشه ها را در گروههای ژنراتوری همپا بدست می آورد.

اگر N_g ژنراتور و X_j داده ($1 \leq j \leq N_g$) وجود داشته باشد خوشه های واقع در سیستم در k مراکز خوشه، خوشه بندی می شوند. و μ_{hj} درجه عضویتی که X_j به h امین مرکز خوشه را دارد بیان می کند.

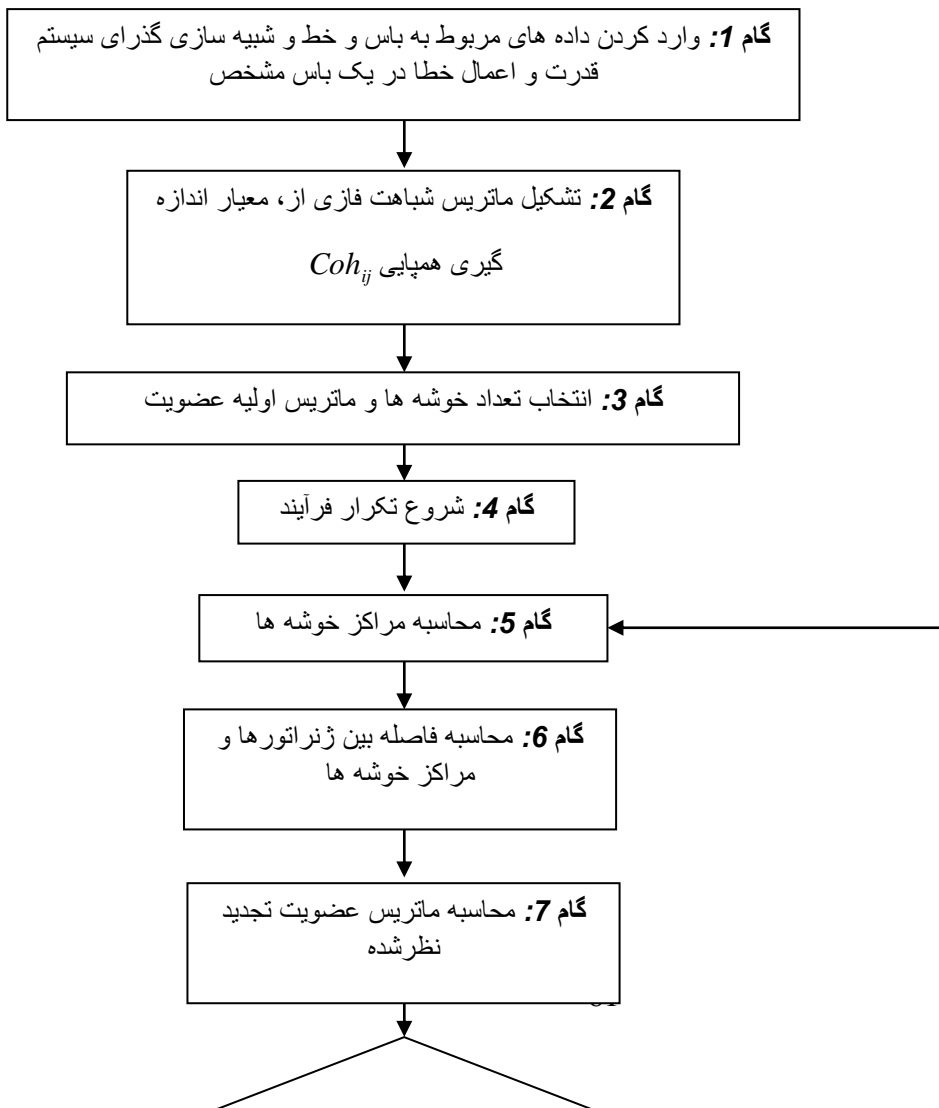
که C_{ij} شاخص درجه بین ژنراتور i و ژنراتور j می باشد که در شکل (20-4) این داده ها نشان داده شده است. همانطور که در شکل (20-4) دیده می شود، داده های اولیه در این خوشه بندی به

صورت مرزهای تیز بوده و مراکز اولیه به طور تصادفی و به اندازه تعداد ژنراتورها در نظر گرفته می شوند.



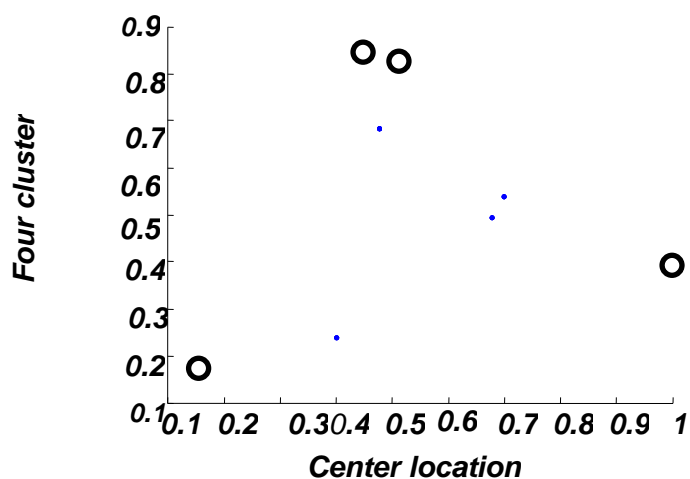
شکل (4-20) داده های ماتریس معیار همپایی با مراکز تصادفی

داده های این خوشه بندی با توجه به معیار همپایی اعداد بین صفر و یک می باشد. الگوریتم خوشه بندی فازی C-میانگین به منظور شناسایی ژنراتورهای همپا در زیر به طور خلاصه آورده شده است:

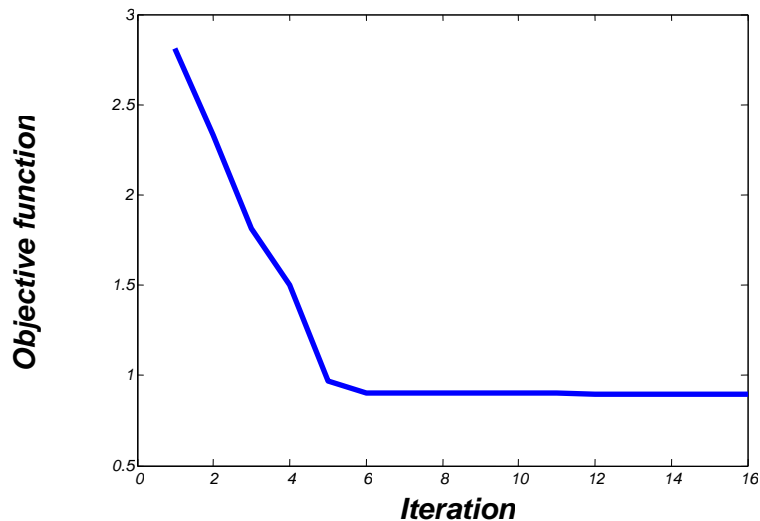


شکل (21-4) فلوجارت شناسایی ژنراتورهای همپا با استفاده از خوشه بندی فازی C-میانگین

موقعیت مراکز خوشه ها در شکل (22-4) نمایش داده شده است. همچنین درجه عضویت هر ژنراتور و درجه عضویت گروه بندی و مقادیر تابع هدف برای اعمال خطا نزدیک باس 3 در خط 4-3 در شکل های (23-4) و (24-4) نشان داده شده است.

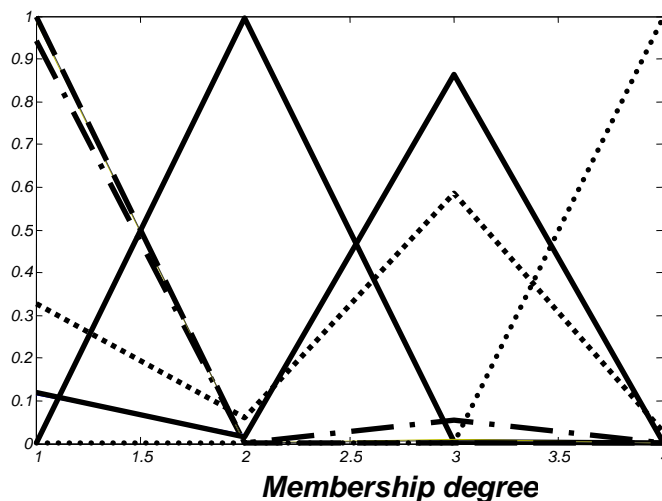


شکل (22-4) مراکز 4 خوشه در اثر اعمال خطا در نزدیکی باس 3 خط 4-3



شکل (23-4) مقادیر تابع هدف در طی فرایند خوشه بندی

مطابق شکل (24-4) در طی فرایند خوشه بندی، مقادیر تابع هدف تغییر می کند تا همگرا شود.



شکل (24-4) درجه عضویت چهارخوشه

نتایج خوشه بندی دقیقاً مشابه نتایج روشهای خوشه بندی قبلی می باشد که از ذکر مجدد آن خودداری شده است.

شده است. با انتخاب معیار همپایی، با هرکدام از سه روش فوق گروه های همپا نتایج یکسانی داشتند. حسن استفاده از معیار همپایی آنست که هر روش خوشه بندی نتایج یکسانی، در شناسایی ژنراتورهای همپا دارد.

برای میزان صحت گروه بندی منحنی های نوسان گروه های ژنراتوری به طور مجزا برای خوشه سازی رسم گردیده اند و منحنی نوسان گروه معادل نمایش داده شده است.

7-4 معادلسازی خوشه ها و مقایسه رفتار سیستم اصلی و معادل

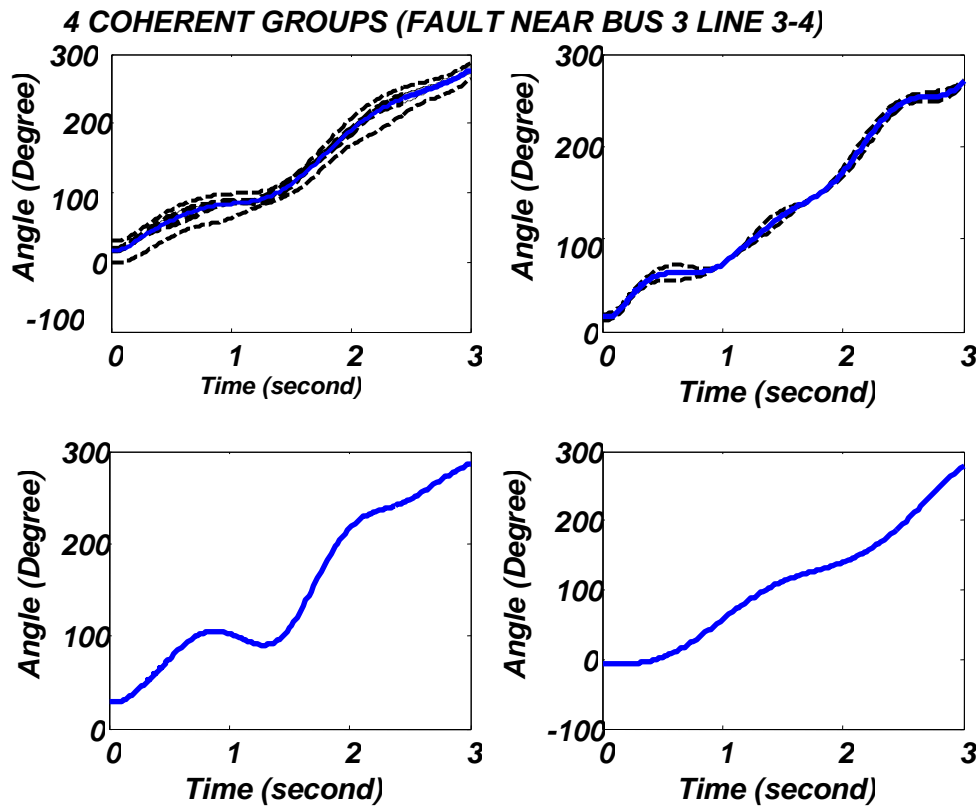
به منظور یکپارچه سازی هرگروه ژنراتورهای همپای سیستم قدرت، بعد از حل معادلات نوسان، لازم است پارامترهای ژنراتور معادل محاسبه شود. با استفاده از روابط (5-4) ثابت اینرسی ژنراتور معادل و با استفاده از روابط (6-4) راکتانس گذرای ژنراتور معادل و با استفاده از رابطه (7-4) زاویه روتور مرکزی ژنراتور معادل با استفاده از رابطه (8-4) بدست می آید. لازم به ذکر است توان اکتیو و راکتیو باس معادل برابر مجموع توانهای اکتیو و راکتیو می باشد. لازم به ذکر است در معادلسازی ساختار فیزیکی شبکه تغییری نمی کند و نیازی به روش حذف گوس یا کرون در تقلیل ساده سازی شبکه نمی باشد. از محاسن روشهایی چون روش مدهای کند و خوشه بندی آنست که نیازی به تقلیل شبکه نیست. لازم به ذکر است که به منظور در معادلسازی گروه های مورد نظر تپینگ ترانسها در نظر گرفته نشده است. [65-60]

$$H_{eq_Each\ Cluster} = \sum_{i=1}^k H_i \quad (5-4)$$

$$X'_{deq_each\ cluster} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{X'_{di}}} \quad (6-4)$$

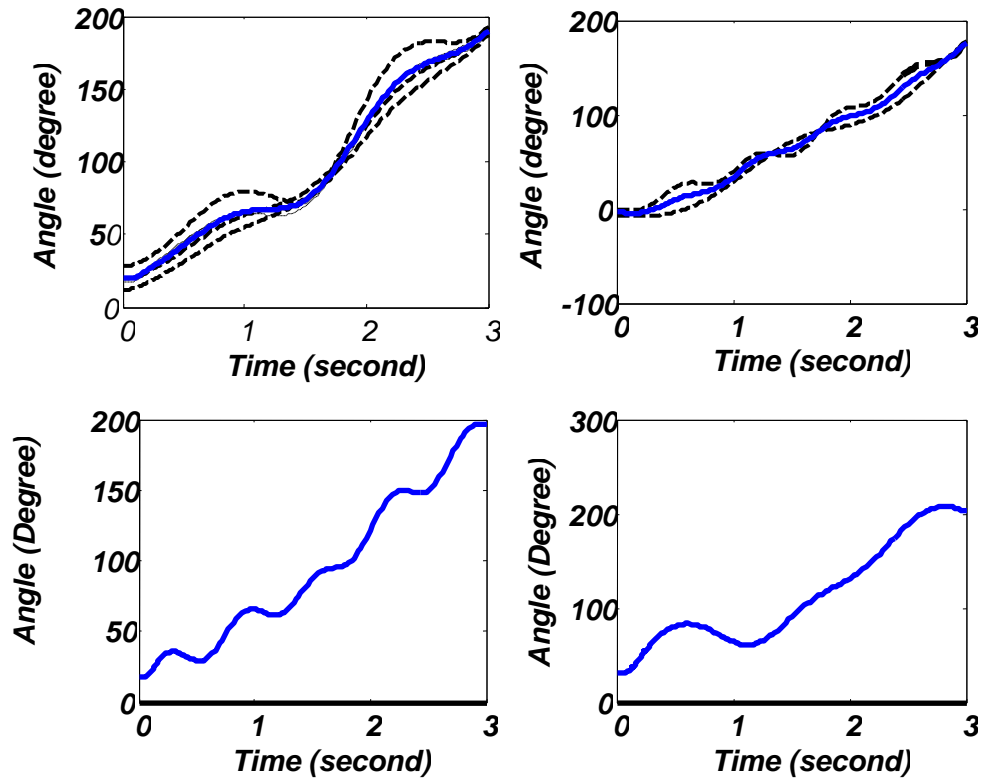
$$\delta_{core} = \frac{\sum_{i=1}^k H_i \delta_i}{H_{eq_Each\ Cluster}} \quad (7-4)$$

و با استفاده از روشهای دیگر که در فصل دوم بیان شد می توان گروه های همپا را معادلسازی کرد.



شکل (4-25) منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورها به همراه ژنراتور معادلشان برای چهار گروه بندی در اتصال کوتاه سه فاز نزدیک باس 3 در خط 3-4

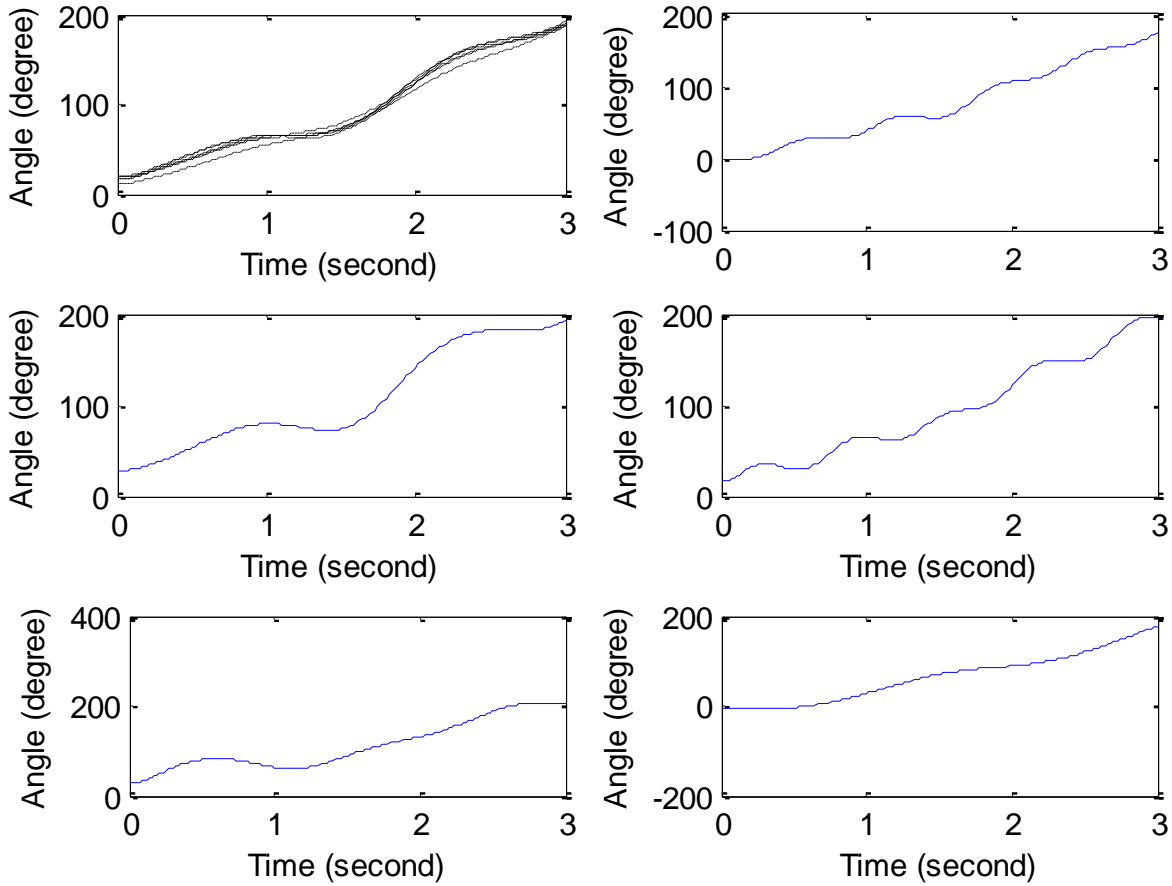
4 COHERENT GROUPS



شکل (4)-4

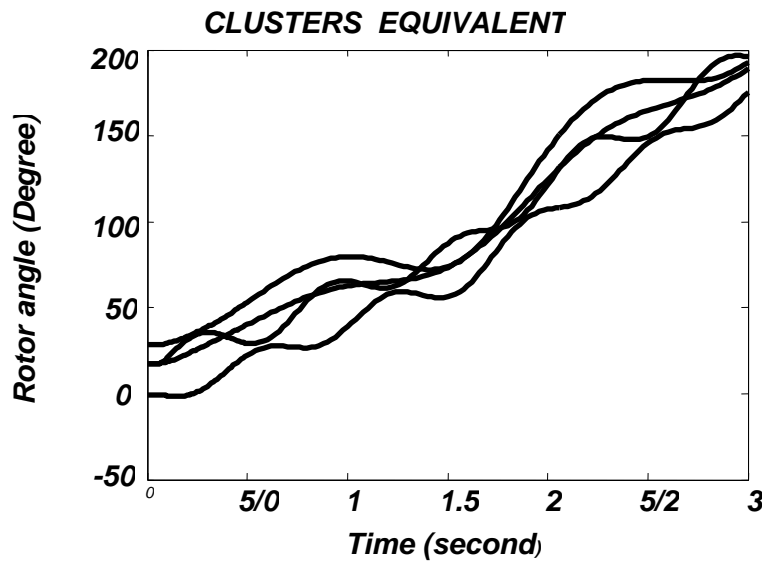
(26) منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورها به همراه ژنراتور معادلشان برای چهار گروه بندی در اتصال کوتاه نزدیک باس 25 واقع در خط 25-26

6 COHERENT GROUPS (FAULT NEAR BUS 25 LINE 25-26)

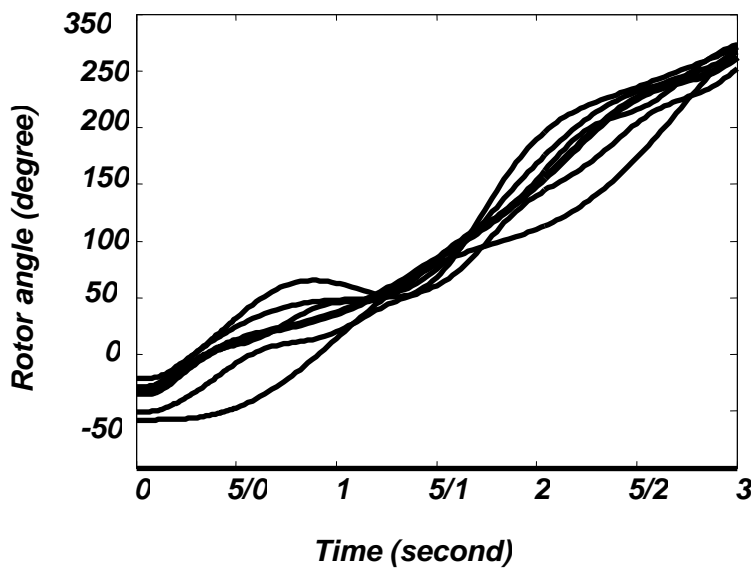


شکل (4-27) منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورها به همراه ژنراتور معادلشان برای شش گروه بندی در اتصال کوتاه نزدیک باس 25 واقع در خط 25-26

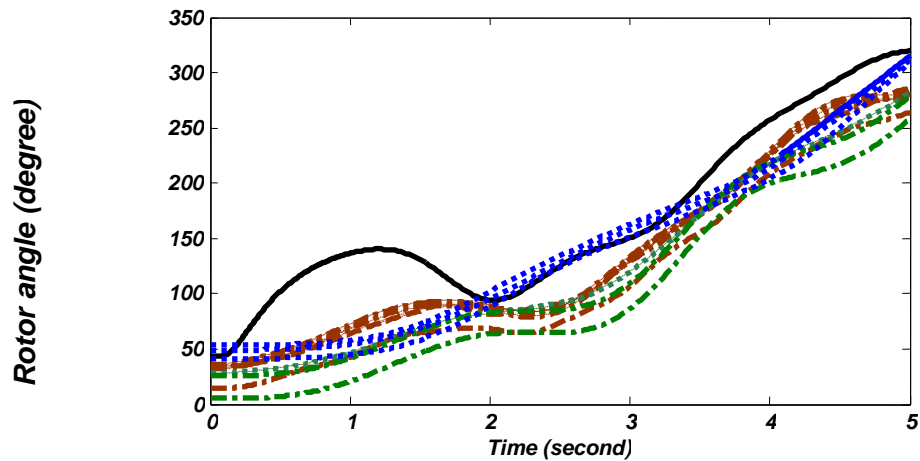
در شکل زیر رفتار معادلسازی شده چهار گروه برای اتصال کوتاه سه فاز در خط 25-26 نزدیک باس 25 و شش گروه برای اتصال کوتاه سه فاز در خط 3-4 نزدیک باس 3 نشان داده شده است. منحنی نوسانات سیستم معادلسازی به نحو مطلوبی رفتار نوسانات سیستم اصلی را داراست.



شکل (28-4) منحنی نوسانات برای چهار گروه معادلسازی شده در نزدیکی باس 25 خط 25-26

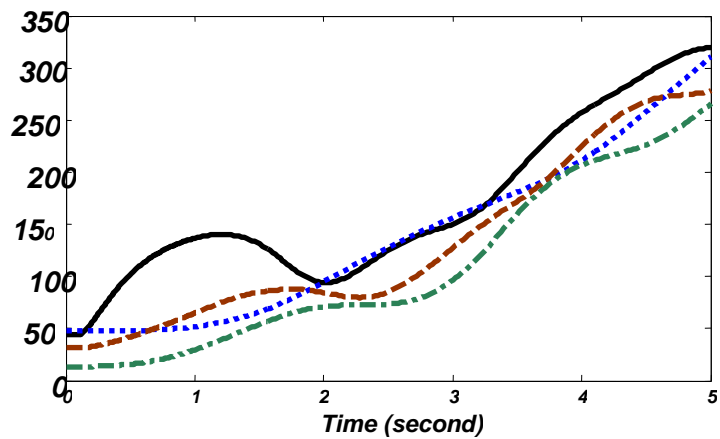


شکل (29-4) منحنی نوسانات برای شش گروه معادلسازی شده در نزدیکی باس 3 خط 4-3



شکل (30-4) منحنی نوسانات زاویه روتور ژنراتورهای شبکه 68 باسه با اعمال خطا در نزدیکی باس 29

نتایج نوسانات زاویه روتورها هر گروه با رنگ خاص خودش که در شکل (30-4) آمده است که ژنراتورهای واقع در هر گروه رفتار نوسانات زاویه روتورشان مشابه می باشد. نتایج معادلسازی رفتار نوسانات زاویه روتور ژنراتورها در شکل (31-4) نمایش داده شده است.



شکل (31-4) نوسانات زاویه روتور ژنراتورهای معادل چهار گروه

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

1-5 نتیجه گیری

روش های خوشه بندی بدلیل آنکه تواناییهای بالقوه ای در کلاسه بندی، بهینه سازی و برنامه ریزی شبکه های قدرت و کامپیوتر دارد، پاسخگوی بسیاری از مسایل سیستم قدرت می باشد. در این پایان نامه کاربرد روشهای خوشه بندی به منظور تقسیم بندی شبکه به تعداد دلخواه و همچنین بدست آوردن تعداد گروه مشخص ژنراتورهای همپا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از آنجاییکه هر روش شناسایی ژنراتورهای همپا هر کدام دارای معایبی است، روش های خوشه بندی در شناسایی ژنراتورهای همپا با استفاده از معیار همپایی موفق عمل کرده است. روشهای خوشه بندی بدون سرپرست از جمله روش خوشه بندی سلسله مراتبی، روش خوشه بندی K-میانگین و خوشه بندی فازی C-میانگین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و محاسن و مزایای هر کدام در شناسایی ژنراتورهای همپا بررسی گردید و نشان داده شد که ژنراتورهای واقع در هر گروه همپا نوسانات زاویه روتورشان به هم شبیه بوده و با نوسانات گروه های همپای دیگر متفاوت می باشد.

روش خوشه بندی سلسله مراتبی، مدیریت بهینه ای در شناسایی ژنراتورهای همپا دارد و قابلیت نمایش گروه های همپا را در شماتیک درختی دندروگرام را دارد و در مواردی که لازم است گروه های همپای کوچکتر شناسایی شوند، روش مناسبی برای این منظور می باشد. روش خوشه بندی K- میانگین قابلیت نمایش میزان پراکندگی داده ها را در خوشه ها داشته و با مقایسه میزان پراکندگی داده ها در تقسیم بندیهای مختلف شبکه، تقسیم بندی مساعدی از شبکه بدست می آید. روش خوشه بندی فازی C-میانگین نیز توانایی لازم را برای این منظور دارد. در خوشه بندی فازی C-میانگین هر داده ای که در هر گروه واقع است دارای درجه عضویتی می باشد.

به طور کلی، روشهای خوشه بندی قابلیت تقسیم بندی شبکه را به تعداد دلخواه دارد و می تواند در مطالعات دینامیکی در سیستم های قدرت خیلی بزرگ موثرتر باشد علی الخصوص با توجه به افزایش میزان مصرف برق و موارد ناپایداری شبکه، شناسایی گروههای همپای کوچکتر و تقسیم بندی سیستم قدرت به بخشهای کوچکتر لازم و ضروری به نظر می رسد. از مزایای چند ناحیه ای شدن سیستم قدرت قابلیت اطمینان بیشتر، کاهش زمان محاسباتی و تصمیم گیری مناسبتر در برنامه ریزی سیستم های قدرت می باشد.

2-5 پیشنهادات

1- شناسایی ژنراتورهای همپا به روش مدهای کند به همراه خوشه بندی سلسله مراتبی بررسی شود.

2- استفاده از خوشه بندی ژنتیک یا تجمع ذرات در شناسایی ژنراتورهای همپا بررسی شود.

- 3- به کارگیری روشهای خوشه بندی در شناسایی ژنراتورهای همپای ایران و معادلسازی آن
- 4- به کارگیری روش های خوشه بندی بدون سرپرست از جمله خوشه بندی عصبی برای شناسایی ژنراتورهای همپا
- 5- به کارگیری روش های تابع انرژی به همراه خوشه بندی به منظور تشخیص نقاط پایدار شبکه و ژنراتورهای همپا
- 6- به کارگیری تئوری کات ست در بحث چند ناحیه ای کردن سیستم قدرت
- 7- به کارگیری روشهای خوشه بندی در شناسایی بهینه تعداد گروههای همپای بخش خارجی

فصل دوم

مروری بر کارهای گذشته در شناسایی ژنراتورهای همپا و معادلسازی دینامیکی

1-2 مقدمه

به منظور کاهش زمان محاسباتی در شبیه سازی گذرا، مدل‌های دینامیکی کاهش یافته سیستم اصلی ضروری می باشد. تعیین مدل کاهش یافته ای که می تواند بیانگر رفتار سیستم اصلی باشد، معادلسازی دینامیکی نامیده می شود. معادلسازی دینامیکی برای تحلیل شبیه سازی پایداری گذرای سیستم قدرت بزرگ به کار می رود. معادلهای دینامیکی همچنین برای طراحی پایدارسازها و محدودیت های سرمایه گذاری سیستم انتقال بین ناحیه ای به کار می رود. شبیه سازی گذرای سیستم برای معادلسازی دینامیکی مورد نیاز است و بر اساس آن ژنراتورهای همپای شبکه شناسایی می شوند و سپس یکپارچه سازی⁴² ژنراتورها انجام شود.

2-2 پایداری گذرای سیستم قدرت

تعیین پایداری گذرا یکی از اهداف اصلی در عملکرد و برنامه ریزی سیستم قدرت می باشد. پایداری گذرا توانایی سیستم در باقی نماندن حالت سنکرونیزه شبکه تحت اغتشاشات بزرگ می باشد.

عملکرد پایداری گذرای سیستم قدرت مطابق منحنی نوسانات خروجی واحدهای ژنراتوری می باشد. این منحنی های نوسانات ژنراتورها بوسیله حل کردن معادلات نوسان در حوزه زمان بدست می

⁴² - Aggregation

آید. پایداری سیستم قدرت از جمله موارد حائز اهمیت در سیستم قدرت می باشد. مطالعات ناپایداری سیستم قدرت در سه نوع مختلف تقسیم می شود [11-18]:

- پایداری گذرا
- پایداری ماندگار
- پایداری دینامیکی

پایداری گذرا مطابق با تغییرات بزرگ و لحظه ای تغییرات شرایط شبکه از جمله خطاهای سیستم انتقال، تغییرات بار ناگهانی و تلفات واحدهای تولید می باشد.

3-2 انواع اغتشاشات

1- اغتشاشات کوچک نظیر تغییر در بهره AVR، در سیستم تحریک یک واحد تولید، برای اینگونه اختلالات عموماً از مدل خطی کمک می گیریم.

2- اغتشاشات بزرگ نظیر خطای سیستم انتقال، از دست دادن واحد تولید، سوئیچینگ خط که برای اینگونه اختلالات معمولاً خطی سازی معادلات غیرخطی مجاز نیست. پایداری گذرای سیستم قدرت در این نوع اغتشاش بررسی می شود.

1-3-2 اغتشاشات پایداری گذرا

سه گونه مهم اینگونه اغتشاشات شامل موارد زیر است:

الف) اتصال ناگهانی بار بزرگ: مدلسازی آن معمولاً با در نظر گرفتن ادمیتانس بار برابر با صفر انجام میشود.

$$Y = \frac{(p - jQ)}{|V|^2} = 0 \quad (1-2)$$

که در این رابطه Y ادمیتانس بار، p توان اکتیو، Q توان راکتیو و V ولتاژ بار می باشد.

ب) اتصال کوتاه ناگهانی روی شین یا نزدیک آن: خطاهای سه فاز ممکن است در شین یا نزدیکی آن رخ دهد. اینگونه خطاها معمولاً با قراردادن ولتاژ شین برابر با صفر در مطالعات پخش بار مدل می شوند. از ماتریس ادمیتانس شین، ماتریس جدیدی با حذف سطر و ستون شین خطا دار بدست می آید که برای محاسبات آنالیز پایداری گذرا در خلال زمان خطا مورد استفاده قرار می گیرد. دقت شود که اگر خطا در وسط خط رخ داده باشد ادمیتانس نصف به نصف به ترمینالهای مجاور تعلق می گیرد.

ج) ورود یا خروج ناگهانی واحد تولیدی بزرگ: بعلت وقوع هرگونه خطایی روی ژنراتور یا ترمینال آن ایجاد می شود. در بررسی این مورد معمولاً از مدل دقیق ژنراتور همراه معادلات غیرخطی استفاده می شود.

انواع خطا در شبیه سازی گذرا از قبیل اتصال کوتاه در خطوط انتقال، باسها یا ورودیهای ترانسفورمر می باشد. زمانیکه یک خطا رخ می دهد، لازم است که عمل رفع خطا بدون از دست دادن اینرسی سنکرونیزه ماشینها انجام شود.

معمولاً برای نمایش سیستمهای انتقال از مدار معادل π با پارامترهایی که مستقل از تغییرات پارامترهای سایر اجزاء هستند استفاده می شود. این نحوه نمایش در مطالعات پایداری سیستمهای چندین ماشین به علت حضور پارامترهای متغیر با زمان و ایجاد پیچیدگی در محاسبات بسیار مناسب می باشد. در مطالعات پایداری همانند مطالعات پخش بار، اتصال کوتاه خط انتقال با یک ماتریس مختلط مربعی در نظر گرفته شده و با توجه به بردار جریان های تزریقی و بردار ولتاژ باسها معادلات شبکه را می توان بصورت زیر نمایش داد:

$$\begin{bmatrix} I_{inj} \end{bmatrix} = [Y][V] \quad (۲-۲)$$

$\begin{bmatrix} I_{inj} \end{bmatrix}$ بردار جریان تزریقی، $[Y]$ بردار ادمیتانس و $[V]$ بردار ولتاژ باس ها می باشد.

ماکزیم زمانی که خطا، بوسیله باز شدن خط انجام می گیرد، برطرف می شود زمان رفع خطا⁴³ نامیده می شود.

پس از ایجاد یک اغتشاش، فرکانس ماشین سنکرون، اغتشاشات گذرای را نسبت به فرکانس سنکرون تجربه می کند و زاویه توان ماشین تغییر می کند با مشاهده منحنی نوسانات زاویه روتور⁴⁴ ژنراتورها می توانیم پایداری یا ناپایداری⁴⁵ سیستم قدرت حالت مانای جدید بررسی می شود. زمانیکه با افزایش زمان به بینهایت، زاویه روتور ژنراتورها با یکدیگر نوسان کنند سیستم پایدار می باشد و زمانیکه زاویه روتور ژنراتورها با یکدیگر نوسان نمی کنند، سیستم ناپایدار است.

برای ارزیابی پایداری سیستم قدرت از شبیه سازی حوزه زمانی⁴⁶ استفاده می شود. این روش در سال 1960 توسعه یافت. این روش شامل حل معادلات نوسان برای هر ماشین به منظور بدست آوردن زاویه ماشینها در حوزه زمان می باشد که منحنی نوسانات ماشینها نامیده می شود. منحنی نوسانات بیانگر اطلاعاتی از پایداری گذرای سیستم می باشد. برای یک اغتشاش مشخص، برنامه متناوباً به صورت گام به گام معادلات جبری پخش بار را که نمایشگر یک شبکه غیر خطی و معادلات دیفرانسیل غیر خطی را که نشانگر ماشین های سنکرون است، حل می کند.

^{۴۳} - Clearing time

^{۴۴} - Rotor angle swing curve

^{۴۵} - Instability

^{۴۶} - Time domain

در این روش محاسبات برای سه حالت قبل از وقوع اغتشاش، به هنگام اغتشاش و پس از رفع اغتشاش انجام می شود.

4-2 مدل سازی سیستم قدرت

سیستم قدرت با دو معادله دیفرانسیلی جبری مدل سازی می شود:

$$\dot{y} = f(x, y) \quad (3-2)$$

$$0 = g(x, y) \quad (4-2)$$

معادله (3-2) شامل معادلات دیفرانسیل همه ژنراتورها می باشد. مطابق درجه مدل سازی مورد نیاز، معادله (3-2) متشکل از معادلات دیفرانسیل توربین ها، تحریک کننده ها، گاورنرها و سایر ادوات کنترلی می باشد. x بردار متغیرهای حالت در معادلات دیفرانسیل می باشد و y متناسب با جزئیات مدل سازی سیستم قدرت می باشد. معادله (4-2) شامل معادلات استاتور ماشین، معادله شبکه و بارها می باشد.

برای کاهش محاسبات و سادگی کار چند فرض معقول در مطالعات انجام می دهیم:

1- ژنراتورها را با یک منبع ولتاژ سری شده با یک راکتانس ثابت که راکتانس گذاری ماشین در محور مستقیم می باشد مدل می کنیم.

2- سیستم تحریک آنقدر سریع نیست که در لحظات اولیه وارد عمل شود در نتیجه اندازه ولتاژ پشت راکتانس گذرا را $|E_i|$ ثابت و برابر مقدار قبل از خطا در نظر می گیریم.

3- به دلیل کندی سیستم گاورنر و توربین قدرت مکانیکی را ثابت و برابر مقدار قبل از خطا در نظر می گیریم.

4- بارها را به صورت ادمیتانس های ثابت بر اساس ولتاژهای محاسبه شده در قبل از خطا در نظر می گیریم.

هنگام بروز یک اغتشاش در سیستم به طور لحظه ای یک اختلاف بین توان الکتریکی و توان مکانیکی هر ماشین موجود در شبکه به وجود خواهد آمد که این باعث شتابگیری کند شونده یا تند شونده ماشین خواهد شد [19]. توان مکانیکی ماشینها با عمل کردن سیستم گاورنر تغییر خواهد کرد و توان الکتریکی با تغییرات ولتاژ ماشینها و سیستم تحریک ماشینها تغییر خواهد کرد. برای هر ماشین می توان نوشت:

$$\frac{d}{dt}(W_{KEi}) + P_{di} = P_{mi} - P_{ei} \quad (5-2)$$

که در این رابطه:

W_{KEi} انرژی جنبشی ماشین i ام برحسب $Mwsec$

P_{di} قدرت میراشونده ماشین i ام برحسب MW

P_{mi} قدرت مکانیکی ورودی ماشین i ام برحسب MW

اگر فرکانس سنکرون را با f_0 نمایش دهیم، چون انرژی جنبشی با مجذور فرکانس متناسب است می توان نوشت:

$$W_{KEi} = W_{KEi}^0 \left[\frac{f_i}{f_0} \right]^2 \quad (6-2)$$

که W_{KEi}^0 انرژی جنبشی در سرعت سنکرون می باشد.

چون $f_i = f_0 + \Delta f_i$ و با توجه به اینکه Δf_i کوچک است داریم:

$$W_{KEi} = W_{KEi}^0 \frac{(f_0 + \Delta f_i)^2}{f_0^2} \approx W_{KEi}^0 \left[1 + \frac{2\Delta f_i}{f_0} \right] \quad (7-2)$$

با مشتق گیری از W_{KEi} از رابطه (7-2) نتیجه زیر بدست می آید:

$$\frac{d}{dt}(W_{KEi}) = 2 \frac{W_{KEi}^0}{f_0} \frac{d}{dt} \Delta f_i \quad (8-2)$$

فرض کنیم:

$$\delta_i = \theta_i - \omega_0 t$$

$$\Rightarrow \frac{d\delta_i}{dt} = \frac{d\theta_i}{dt} - \omega_0 = \omega_i - \omega_0 = 2\pi(f_i - f_0)_i \quad (9-2)$$

که θ_i زاویه الکتریکی ماشین i ام و δ_i زاویه روتور ماشین می باشد.

با توجه به اینکه قدرت میرایی با تغییرات فرکانس از فرکانس سنکرون متناسب است با جایگذاری معادله (5-2) در (8-2) نتیجه زیر بدست می آید:

$$\frac{H_i}{\pi f_0} \frac{d^2 \delta_i}{dt^2} + D_i \frac{d\delta_i}{dt} = P_{mi} - P_{ei} \quad i=1,2,\dots,m \quad (10-2)$$

$$H_i = \frac{W_{KEi}^0}{MVABase} \quad (11-2)$$

H_i ثابت اینرسی ماشین i ام، f_0 فرکانس کاری سیستم، D_i ضریب میرایی ماشین i ام، P_{mi} توان مکانیکی ورودی ماشین i ام، P_{ei} توان الکتریکی خروجی ماشین i ام و δ_i زاویه روتور ماشین i ام می باشد.

توان مکانیکی ورودی به ژنراتور تابعی است از دینامیک گاورنر و توربین ژنراتور و قدرت الکتریکی با در نظر گرفتن تاثیر معادلات شبکه و سیستم تحریک محاسبه می شود.

توان الکتریکی خروجی ژنراتور i ام در یک سیستم قدرت m ماشینه به صورت رابطه (2-12) محاسبه می شود.

$$P_{ei} = E_i^2 G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m E_i E_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_{ij})$$

$$= E_i^2 G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m E_i E_j (B_{ij} \sin \delta_{ij} + G_{hj} \cos \delta_{ij}) \quad (12-2)$$

$\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ اختلاف زاویه بین دو ژنراتور i ام و j ام و E_i ولتاژ ثابت پشت راکتانس گذرا برای ماشین i ام و $Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$ عنصر (i, j) ام از ماتریس ادمیتانس تقلیل یافته به گره های داخلی ژنراتورها می باشد.

برای پیدا کردن P_{ei} ها احتیاج به ماتریس ادمیتانس شبکه تقلیل یافته به گره های داخلی ژنراتورها خواهیم داشت که در ادامه به چگونگی پیدا کردن آن می پردازیم.

2-4-1 ماتریس ادمیتانس تقلیل یافته به گره های داخلی ژنراتورها

در یک سیستم متشکل از n باس و m ژنراتور، ماتریس ادمیتانس تقلیل یافته به گره های داخلی ژنراتورها به صورت یک سیستم دارای m باس خواهد بود.

برای تقلیل ماتریس ادمیتانس به گره های داخلی ژنراتور اگر Y_{bus} ماتریس ادمیتانس شبکه اصلی باشد مراحل زیر باید انجام گیرد:

(1) بارها به صورت امپدانس های ثابت با توجه به ولتاژ شینها در پخش بار قبل از خطا مدل شوند:

$$Y_{bus} = Y_{bus(old)} + \text{diag}(Y_{Li}) \quad (13-2)$$

که

$$Y_{Li} = (P_{Li} - jQ_{Li}) / |V_i|^2 \quad i=1, \dots, n \quad (14-2)$$

و V_i ولتاژ i حاصله از پخش بار روی سیستم قبل از خطا و P_{Li} ، Q_{Li} و Y_{Li} به ترتیب توان اکتیو، توان راکتیو و admittانس قبل از وقوع خطا است.

(2) گره های داخلی ژنراتورها به سیستم اضافه می شوند. به این ترتیب که اگر Y_{bus} را قبل از این کار به صورت:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 \\ Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \quad (15-2)$$

در نظر بگیریم $Y_{bus(new)}$ ، ماتریس جدید admittانس، به صورت زیر خواهد بود:

$$Y_{bus(new)} = \begin{bmatrix} Y & -Y & 0 \\ -Y & Y_1 + Y & Y_2 \\ 0 & Y_3 & Y_4 \end{bmatrix}_{(n+m)(n+m)} \quad (16-2)$$

$$Y_{new} = \text{diag}[Y_1, \dots, Y_m] \quad (17-2)$$

$$Y_i = -\frac{j}{X'_{di}} \quad (18-2)$$

که X'_{di} راکتانس گذاری ماشین i ام می باشد.

(3) کلیه شینهای باری را حذف کرده و سیستم را به گره های داخلی ژنراتورها تقلیل می دهیم

2-4-2 معادلات شبکه قدرت در فضای حالت

با توجه به معادله دیفرانسیل رابطه (10-2) و با ثابت در نظر گرفتن توان مکانیکی ورودی ماشینها

$$\Delta P_{mi} = 0 \quad \text{معادله دیفرانسیل (10-2) برای تغییرات کوچک به صورت زیر بیان می شود:}$$

$$\frac{d^2 \Delta \delta_i}{dt^2} + \frac{\pi f_0 D_i}{H_i} \frac{d \Delta \delta_i}{dt} + \frac{\pi f_0}{H_i} \Delta P_{ei} = 0 \quad (19-2)$$

اما برای محاسبه ΔP_{ei} اگر از رابطه (12-2) دیفرانسیل بگیریم خواهیم داشت:

$$\Delta P_{ei} = \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^m E_i E_j (B_{ij} \cos \delta_{ij0} - G_{ij} \sin \delta_{ij0}) \Delta \delta_{ij} \quad (20-2)$$

که می توان نوشت:

$$\Delta P_{ei} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m P_{sij} \Delta \delta_{ij} \quad (21-2)$$

که در اینجا:

$$P_{sij} = \frac{aP_{ij}}{a\delta_{ij}} \Big|_{\delta_{ij0}} = E_i E_j (B_{ij} \cos \delta_{ij0} - G_{ij} \sin \delta_{ij0}) \quad (22-2)$$

P_{sij} معرف تغییرات توان الکتریکی ماشین i ام بر اثر تغییر زاویه بین دو ماشین i و j است (بقیه زوایا ثابت می باشند) که به ضریب قدرت سنکرون کننده⁴⁷ بین دو ماشین i و j معروف می باشد.

با جایگزینی رابطه (21-2) در (19-2) داریم:

$$\frac{H_i}{\pi f_0} \frac{d^2 \Delta \delta_i}{dt^2} + D_i \frac{d\Delta \delta_i}{dt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m P_{sij} (\Delta \delta_i - \Delta \delta_j) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{d^2 \Delta \delta_i}{dt^2} = -\frac{\pi f_0 D_i}{H_i} \frac{d\Delta \delta_i}{dt} - \frac{\pi f_0}{H_i} \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m P_{sij} \right) \Delta \delta_i + \frac{\pi f_0}{H_i} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m P_{sij} \Delta \delta_j \quad (23-2)$$

از طرفی داریم:

$$\Delta \delta'_i = \Delta \omega_i \quad (24-2)$$

واز رابطه (23-2) و (24-2) داریم:

$$\Delta \omega_i = -\frac{\pi f_0 D_i}{H_i} \Delta \omega_i - \frac{\pi f_0}{H_i} \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m P_{sij} \right) \Delta \delta_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m P_{sij} \Delta \delta_i \quad (25-2)$$

$\Delta \omega$ ، $\Delta \delta$ به ترتیب تغییرات زاویه روتور و تغییرات سرعت زاویه روتور ژنراتور می باشد.

اگر بردار حالت سیستم را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$X = \begin{bmatrix} \Delta\delta_i \\ \cdot \\ \Delta\delta_m \\ \Delta\omega_1 \\ \cdot \\ \Delta\omega_m \end{bmatrix}_{2m \times 1} \quad (26-2)$$

که P_{sij} با استفاده از رابطه (22-2) قابل محاسبه است که بین المانهای ماتریس $A(a(i,j))$ رابطه زیر برقرار است:

$$a_{ii} = \sum_{j=1}^m a_{ij} \quad j \neq i \quad (27-2)$$

ماتریس D یک ماتریس قطری است که المانهای روی قطر آن به صورت زیر است:

$$D = \text{diag}\{d_i\}_m^{i=1}, \quad d_i = -\frac{\pi f_0 D_i}{H_i} \quad (28-2)$$

با توجه به روابط (23-2) معادلات سیستم را می توان به فرم زیر نوشت:

$$X' = \left[\begin{array}{c|c} 0_{m \times m} & I_{m \times m} \\ \hline A_{m \times m} & D_{m \times m} \end{array} \right]_{2m \times 2m} X \quad (29-2)$$

که I در این رابطه یک ماتریس یکانی $m \times m$ می باشد.

المانهای ماتریس A به شکل زیر است:

$$A = \begin{bmatrix} a_{ij} \end{bmatrix}$$

$$a_{ii} = -\frac{\pi f_0}{H_h} \sum_{j=1}^m P_{sij} \quad j \neq i \quad (30-2)$$

$$a_{ij} = \frac{\pi f_0}{H_i} \sum_{j=1}^m P_{sij} \quad j \neq i \quad (31-2)$$

که P_{sij} با استفاده از رابطه (22-2) قابل محاسبه است که بین المانهای ماتریس A

$$X' = \begin{bmatrix} 0 & I \\ A & D \end{bmatrix} X \quad (32-2)$$

که در این رابطه

$$X = \begin{bmatrix} \Delta\delta_{21} \\ \vdots \\ \Delta\delta_{m1} \\ \Delta\omega_{21} \\ \vdots \\ \Delta\omega_{m1} \end{bmatrix}_{(2m-2) \times 1} \quad (33-2)$$

معادله (32-2) بیان کننده معادلات شبکه قدرت در فضای حالت می باشد.

3-4-2 روش حل معادلات نوسان در سیستم چند ماشینه

توان الکتریکی خروجی ژنراتورها در زمانهای در حال خطا و پس از خطا با استفاده از ماتریس ادمیتانس کاهش یافته به گره های داخلی در هر کدام از مراحل در حال خطا و پس از خطا و با توجه به رابطه زیر محاسبه می شود.

$$P_{ei} = |E_i|^2 Y_{ii} \cos\theta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m |E_i| |E_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_{ij}) \quad (34-2)$$

و

$$E_i = |E_i| \Delta\delta_i = V_i + jX'_{di} \frac{(P_{Gi} - jQ_{Gi})}{V_i^*} \quad (35-2)$$

بعد از ساده سازی، معادله غیر خطی زیر برای معادله نوسان زوایای روتور ژنراتورها بدست می آید:

$$\frac{H_i}{\pi f_0} \frac{d^2 \delta_i}{dt^2} + D_i \frac{d\delta_i}{dt} = P_{mi} - P_{ei} \quad (36-2)$$

$$\delta_i(0) = \delta_i \cdot 0$$

$$\left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{t=0} = 0$$

که P_{mi} در آن ثابت بوده و برابر P_{ei} در قبل از بروز خطا می باشد. با حل عددی این معادله دیفرانسیل مثلا با استفاده از روش رانگ کوتا⁴⁸، روشهای دوزنقه ای⁴⁹ و یا روشهای دیگری می توان منحنی نوسان کلیه ژنراتورها را در یک سیستم چند ماشینه به دست آورد [10-20].

توان الکتریکی خروجی ژنراتورها تحت شرایط زیر افزایش یا کاهش می یابد.

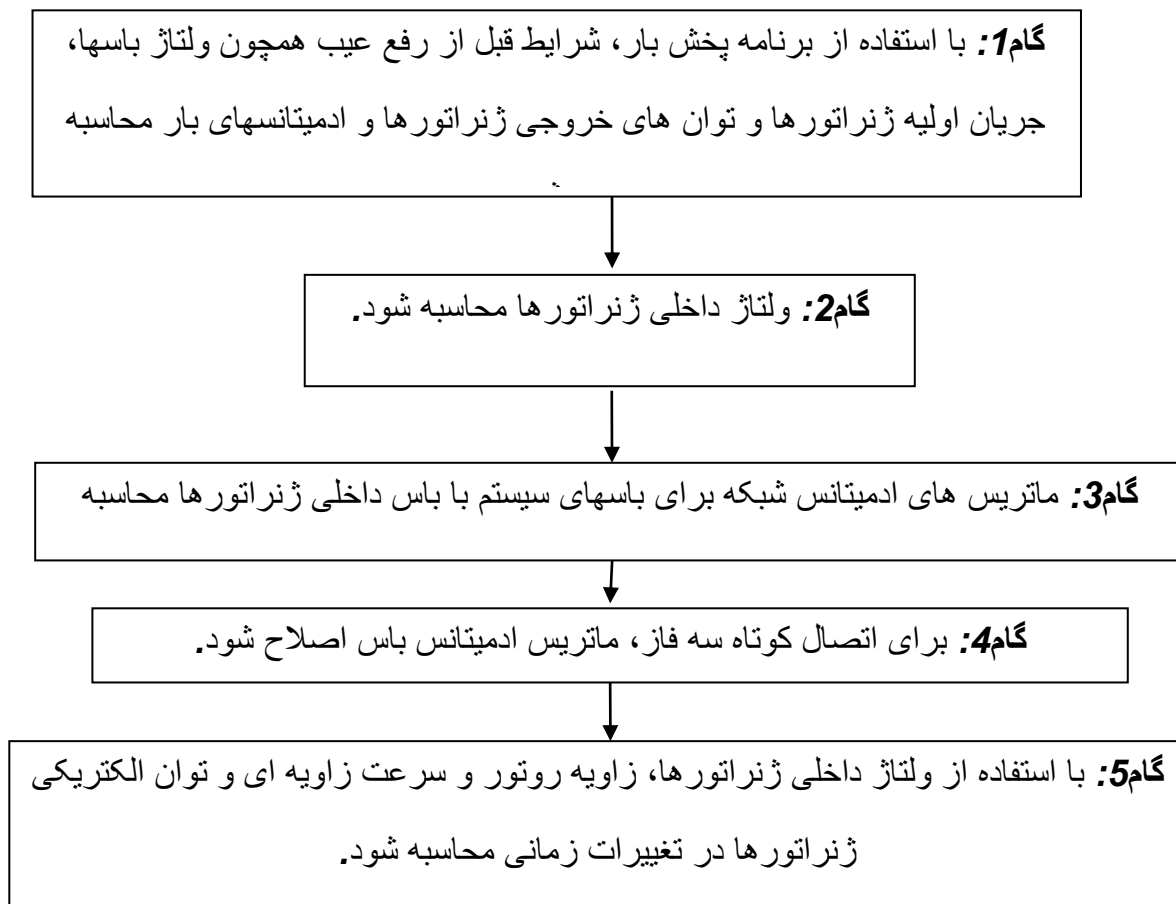
- موقعیت خطا
- ممان اینرسی ژنراتور
- مقدار تولید قبل از خطا

توان مکانیکی ورودی تا زمانیکه توربین و تجهیزات کنترلی تغییرات ناچیزی دارند ثابت می باشد.

الگوریتم پایداری گذرای برای یک سیستم قدرت چند ماشینه به صورت زیر است:

⁴⁸ - Rung-Kutta

⁴⁹ - Trapezoidal method



شکل (1-2) فلوچارت الگوریتم پایداری گذرای سیستم چند ماشینه

5-2 همپایی

همپایی خاصیتی است که در اثر بروز اغتشاش در سیستم قدرت بعضی ژنراتورهای شبکه از خود نشان می دهند. به این صورت که اگر در سیستم قدرت اغتشاشی رخ دهد، تغییرات نسبی زاویه روتور این ماشین ها، صفر یا نزدیک صفر خواهد بود. ماشین هایی که با هم همپا هستند را به صورت یک ماشین معادل مدل می کنیم [21].

بعبارت دیگر و در بیان ریاضی دو ژنراتور i و j را کاملاً همپا گویند اگر:

$$t \in (0, \infty) \quad \Delta\delta_i(t) = \Delta\delta_j(t) \quad (37-2)$$

و به طور مشابه يك گروه از ژنراتورها را كاملاً همپا گویند اگر هر کدام از آنها دو به دو با يكديگر كاملاً همپا باشند. اما شرط ارائه شده براي همپايي ژنراتورها در شبکه هاي واقعي عملاً اتفاق نمي افتد از اينرو با در نظر گرفتن يك تolerance خطاي مقبول تعريف ذيل بيان مي شود.

تعريف: دو ژنراتور i و j را همپا گوئيم اگر:

$$t \in (0, \infty) \quad (38-2)$$

$$\left| \Delta \delta_i(t) - \Delta \delta_j(t) \right| \leq \varepsilon$$

در معادل سازي ديناميكي⁵⁰، سيستم قدرت به نواحي كوچكتر در ظرفيت كمتر تقسيم بندي مي شود.

فرآيند معادل سازي به روش همپايي داراي دو مرحله اساسي زير است:

1- شناسايي ژنراتور هاي همپا

2- معادل سازي ژنراتورهاي همپا با يك ژنراتور معادل

6-2 شناسايي ژنراتورهاي همپا

هدف از شناسايي ژنراتورهاي همپا، استفاده از شبکه هاي كوچكترى بوده كه تمام خصوصيات ديناميكي شبکه اصلي را دارا باشد. به طور كلي روش هاي شناسايي ژنراتورهاي همپا به دو دسته شناسايي توسط شبیه سازي زماني (روش مستقيم) و شناسايي تحلیلی بدون شبیه سازي زماني (روش غيرمستقيم) تقسيم مي شود. اولين كارها در اين مورد در اوایل سال 1970 توسط ادیبي [22] صورت گرفت و توسط پادمور [24-26] توسعه يافت.

شبیه سازي زماني داراي جواب هاي دقيقی مي باشد اما جواب هاي حاصل از آن به محل خطا وابسته مي باشد. در روشهاي مستقيم (شناسايي توسط شبیه سازي زماني) توجه مستقيم روي زواياي روتور ژنراتورها است. در ابتدا اين تغييرات زاويه را با روشهاي محاسبه کرده و سپس شرط همپايي اعمال مي شود. از جمله اين روشها، روش سري تیلور⁵¹، معيار میانگین مربع خطا⁵² و انحراف زاويه اي برابر الگوریتم هاي انتگرال گيري سريع نظیر روش ذوزنقه اي براي حل معادلات خطي شده و بدست آوردن تغييرات زواياي روتور ژنراتورها براي خطاي رخ داده است [27-28]. در روشهاي غيرمستقيم (شناسايي به روش تحلیلی⁵³) محاسبه مستقيم روي زواياي روتوري صورت نمي گيرد بلکه با توجه به تعريف همپايي و بخشی از خصوصيات و ویژگیهاي سيستم نظیر شرایط

⁵⁰ - Dynamic equivalency

⁵¹ - Taylor series expression

⁵² - Error mean squared measure

⁵³ - Analytical identification

اولیه ، ثابت اینرسی ماشینها می باشد که از جمله این روشها، ادمیتانسهای معادل مسافت الکترومکانیکی⁵⁴ و روشهای مبتنی بر شتاب معادل را می توان نام برد [29-30].

روشهای مختلفی برای شناسایی ژنراتورهای همپا در مقالات مورد بررسی قرار گرفته شده است که عده ای از این روشها به اختصار مورد بررسی قرار گرفته شده است:

2-6-1 شناسایی همپایی با استفاده از معیار فاصله⁵⁵ [30-35]

این روش از جمله روشهای اولیه تشخیص همپایی است. معیارهای فاصله که در این روش مورد استفاده قرار می گیرند معیارهای جغرافیایی فاصله نیستند این معیارها شامل دومعیار فاصله ادمیتانس و فاصله انعکاس می شوند که هر معیار را به صورت جداگانه توضیح خواهیم داد.

الف) معیار فاصله ادمیتانس⁵⁶

این معیار ساده ترین معیار اندازه گیری فاصله به حساب می آید. ادمیتانس بین ژنراتورها نزدیکی الکتریکی بین ژنراتورها را مورد بحث قرار می دهد.

در این روش از دو دایره داخلی و خارجی استفاده می شود که بسته به ادمیتانس ژنراتورها دایره داخلی و خارجی تعیین می شود.

در بررسی پایداری ، ژنراتورهای دایره خارجی از اهمیت کمتری نسبت به ژنراتورهای دایره داخلی برخوردار هستند. این دسته عموماً مرزی را در ماشینهایی که در بررسی پایداری گذرا نقش کمتری دارند ایجاد می کند.

برای تعیین دایره خارجی نیاز به مطالعه جدی با کمک مسافت اندازه گیری شده است. عموماً خطای سه فاز به زمین مناسب ترین نوع خطا برای تشخیص همپایی است چرا که بیشترین تأثیر را بر روی پارامترهای سیستم می گذارد. معیارها و ضوابط به راحتی از روی پارامترهای سیستم و با کمک معلومات ماتریس ادمیتانس ، اینرسی و غیره بدست می آید که البته از این اطلاعات در اندازه گیری مسافت نیز استفاده می شود.

راکتانسهای گذرا و ولتاژهای داخلی به معادلات پخش بار شبکه اضافه می شوند و ماتریس ادمیتانس کاهش یافته با توجه به تعداد ماشینهای شبکه با حذف شینهایی ترمینال و بار و حفظ گره های داخلی ژنراتوری بدست می آید.

فاصله ادمیتانس ژنراتورهای خارجی دایره داخلی برابر ماکزیمم ادمیتانس بین ولتاژ داخلی ژنراتورهای داخلی و ولتاژ داخلی ژنراتورهای خارج از دایره می باشد.

⁵⁴ - Electromechanical distance

⁵⁵ - Distance measure

⁵⁶ - Admittance distance measure

ژنراتور هایی در حلقه داخلی قرار دارد باید آنقدر آنرا تغییر داد تا ماکزیمم دامنه را برای ادمیتانس متقابل بدست آوریم. پس طبق تعریف مسافت ادمیتانسی بین دو ژنراتور در ناحیه خارجی و ناحیه داخلی ماکزیمم ادمیتانس بین گره داخلی ولتاژ از يك ژنراتور گروه داخلی ولتاژ از ژنراتور دیگر است هر چه که این مقدار بزرگتر باشد نشانگر آنست که دو ژنراتور بهم نزدیک باشند.

پارامتر دیگر در این روش فاکتور مسافت انعکاسی یا معیار فاصله انعکاس⁵⁷ است که برای بررسی تأثیرات دینامیکی ژنراتورها بر روی پایداری ژنراتورهای ناحیه داخلی مطرح می شود.

ب) معیار فاصله انعکاس⁵⁸

درحالی که معیار فاصله ادمیتانس فقط خصوصیات الکتریکی سیستم انتقال را مورد نظر قرار میدهد. معیار فاصله انعکاس تأثیر دینامیک سیستم را در نظر می گیرد. به صورت خلاصه فاصله انعکاس برای يك ژنراتور خارج از دایره داخلی برابر ماکزیمم شتابی است که يك ژنراتور داخلی در اثر تغییرات زاویه بدست می آورد.

این تغییر زاویه در اثر خطا در سیستم داخلی ایجاد می شود و آن را می توان این چنین تعبیر کرد که این معیار ملاکی برای گشتاور سنکرون کننده بین ژنراتورهای خارج دایره و داخل دایره می باشد.

2-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از نقاط تکین⁵⁹ [۳۶-۳۸]

در معادلات حالت سیستم قدرت که برحسب زاویه روتور و سرعت زاویه ای روتور بیان می شود. نقاط تعادل و نقاط تکین نقاطی هستند که در فضای حالت مشتق تمام حالات نسبت به زمان در این نقاط صفر شود. بنابراین نقاط تکین از حل $n-1$ معادله غیرخطی برای سیستم n ماشین بدست می آیند. در یک سیستم ممکن است که یک نقطه کار پایدار باشد در حالی که این سیستم می تواند دارای تعداد زیادی نقاط تعادل ناپایدار باشد. یک نقطه تکین نوع m ، نقطه تکینی است که فضای حالت سیگنال کوچک آن دارای m مقدار ویژه طرف راست محور $j\omega$ باشد.

در هر زمان ژنراتورها همپا هستند در صورتیکه اختلاف زاویه آنها در نقاط تعادل تقریباً برابر باشد. ژنراتوری با ثابت اینرسی بالا به عنوان ژنراتور مرجع در نظر گرفته می شود. ژنراتور مرجع برای اندازه گیری زاویه های نسبی در نظر گرفته می شود. در اینجا بایستی یک محدوده جغرافیایی برای شناسایی همپایی در معادلات وارد شود چون ممکن است دو ژنراتور که از محل خطا دور می باشند به طور تصادفی اختلاف زاویه روتور آنها تقریباً برابر باشند.

⁵⁷ - Reflection distance

⁵⁸ - Reflection distance

⁵⁹ - Singular

3-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از روش تفکیک ϵ ⁶⁰ [38-40]

تفکیک ϵ یک الگوریتم موثر برای شناسایی تزویج ضعیف در دینامیک سیستم قدرت می باشد. این روش مستقل از محل خطا بوده است. یک روش استاندارد برای شبیه سازی پایداری گذرا، گسسته نمودن معادلات دیفرانسیلی ژنراتور با استفاده از روش های انتگرال گیری ضمنی و ترکیب کردن آن با معادلات جبری شبکه می باشد. معادله دیفرانسیلی را برای هر گام زمانی می توان حل کرد.

4-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از روش تابع انرژی ⁶¹ [40-42]

در این روش با استفاده از تابع انرژی که شامل انرژی جنبشی و پتانسیل سیستم می باشد و با استفاده از مفهوم سیستم، ژنراتورهای همپا شناسایی می شوند. مشکل این روش بدست آوردن دقیق نقاط تعادل ناپایدار می باشد. به طور کلی این روش به علت استفاده از دو بهینه ساز برای شناسایی نقطه تعادل، از حجم بالایی از محاسبات برخوردار است و در نتیجه در سیستم های بزرگ ممکن است با عدم پایداری در محاسبات روبرو شود. از معایب دیگر این روش وابسته بودن به ضرایب خطا می باشد که این ضرایب نسبت به سیستم های مختلف تغییر می کند.

از مزایای این روش می توان به این نکته اشاره کرد که با کمی تغییر در محاسبات می توان این روش را برای بررسی پایداری حالت گذرای سیستم مورد استفاده قرار داد

5-6-2 روش تخمین زاویه روتور [44-43]

این روش در عین سادگی و سرعت زیاد محاسبات، دقت نسبتاً خوبی را نیز دارا می باشد. از آن می توان در محاسبات بهنگام استفاده کرد. در این روش بعلاوه اینکه از خطی سازی حول نقطه تعادل برای حل معادلات استفاده شده، می توان در زمان هایی که اغتشاش وارد بر سیستم بزرگ بوده و سیستم از حالت خطی خارج می شود، استفاده کرد. از معایب این روش وابستگی زیاد به مقادیر ضرائب خطا می باشد.

6-6-2 شناسایی همپایی با استفاده از روش شبیه سازی خطی [45]

این روش بر دو اصل زیر بنا شده است.

الف- همپایی بین ژنراتورها مستقل از دامنه خطا می باشد. بنابراین برای شناسایی ژنراتورهای همپا می توان با فرض اغتشاش کم دامنه، از مدل خطی شده سیستم قدرت به جای مدل غیر خطی آن استفاده کرد.

⁶⁰ - Epsilon decomposition

⁶¹ - Energy function

ب- بدلیل اینکه سیستم های تحریک و گاورنر عموماً میرایی را تغییر می دهند و تاثیر قابل ملاحظه ای در فرکانس طبیعی و شکل مدها ندارند برای تعیین ماشینهای همپا می توان از مدل کلاسیک استفاده کرد.

2-6-7 شناسایی همپایی با استفاده از آنالیز طیفی⁶² [46-48]

در این روش پس از محاسبه زاویه رتور ژنراتورها بعد از خطا، مقادیر بدست آمده به عنوان اطلاعات نمونه جهت آنالیز طیفی به کمک الگوریتم تبدیل فوریه سریع⁶³ مورد استفاده قرار می گیرد پس از محاسبه تبدیل فوریه منحنی های نوسان رتور ژنراتورها، مولفه های فرکانسی مربوط به هر ژنراتور بدست می آید و منحنی های نوسانی که در هر گروه هستند، دارای مولفه های فرکانسی مشابهی خواهند بود. این مولفه ها شامل مولفه دامنه و مولفه فاز می باشند و به کمک آن ژنراتورهای همپا تشخیص داده می شود.

2-6-8 شناسایی توسط مدهای کند⁶⁴ [49-51]

اساس این روش آنست که ماشین های نزدیک به محل خطا، در زمان بعد از خطا، با پاسخ به مدهای تند محلی نوسان می کنند و ماشین های دور از خطا، عمدتاً با فرکانس مدهای کند بین ناحیه ای نوسان می کنند. در اینجا بدست آوردن ماشین هایی که با يك مد کند مشترك نوسان می کند و قرار دادن آنها در يك گروه مدنظر است. بصورت كلي با در نظر گرفتن r مد کند سیستم، دو ماشین i و j همپای کند خوانده می شوند در صورتیکه تفاضل زاویه رتور آنها شامل هیچ يك از مدهای کند نشود. در این روش اغتشاش منفرد، اختلاف پاسخ سیستم اصلی و سیستم تقریب زده شده به صورت اغتشاش مدل می شود، بعنوان اساس روش همپایی کند مورد بررسی قرار می گیرد.

$$\ddot{X} = AX \quad (2-39)$$

همه مقادیر ویژه λ ماتریس A مقدار حقیقی و منفی می باشد. لازم به ذکر است که در مد صفر تمام زاویه رتورها باهم نوسان می کند. جذر این مقادیر ویژه روی محور موهومی و نزدیک مقادیر ویژه معادله خطی سازی شده نوسان قرار می گیرند. بنابراین مدهای کند، همان مدهای A سیستم می باشند. در حالت ایده آل تعداد نواحی همپایی کند برابر مدهای کند سیستم می باشد.

از این روش می توان در مواقعی که احتیاج به تقسیم شبکه به تعداد مورد نظری گروه ژنراتوری و یافتن ژنراتورهایی که دارای بیشترین همپایی می باشد استفاده کرد که در روشهای دیگر این خصوصیات وجود ندارد. در دیگر روشها تنها ژنراتورهایی در یک گروه همپا قرار می گیرند که به صورت کلی همپا باشند یعنی به صورت کلی نمی توان شبکه را مستقیماً به تعداد دلخواه گروه همپا

⁶² - Spectrum analysis

⁶³ - Fast Fourier transform

⁶⁴ - Slow modes

دسته بندی کرد. در روش همپایی کند این امکان به سادگی فراهم می شود که در صورت لزوم هر تعداد تقسیم بندی را روی شبکه انجام دهد. از محاسن دیگر این روش عدم وابستگی به ضرائب خطا و تعداد تکرار کم دریافتن گروه های همپا می باشد. عیب عمده این روش در نبودن معیار تعیین تعداد گروه ها برای داشتن بیشترین دقت در محاسبات می باشد.

2-7 انواع روشهای معادل سازی ژنراتورهای همپا

بعد از مرحله شناسایی ماشین های همپا که اولین و مهم ترین مرحله این روش است یکپارچه سازی ماشین های همپای شناسایی شده انجام می گیرد. سپس پارامتر های ماشین معادل بدست می آید. از روش های مختلفی برای این کار استفاده می شود که در ادامه به صورت مختصر این روشها مرور خواهد شد. در یک طبقه بندی از نظر مدل ماشین به کار برده شده می توان این مرحله را به دو نوع تقسیم بندی کرد در نوع اول از مدل کلاسیک ماشین ها برای یکپارچه سازی استفاده کرده و در نوع دیگر این کار با به کار گیری مدل دقیق برای ماشین ها و ادوات کنترلی انجام می گیرد.

2-7-1 روش یکپارچه سازی با استفاده از مدل کلاسیک

در روش های مختلفی که عمل یکپارچه سازی با استفاده از مدل کلاسیک صورت می گیرد از مدل سیستم های تحریک و گاورنر و غیره صرف نظر می شود و فقط مدل کلاسیک ماشین در نظر گرفته می شود [52-54].

2-7-2 یکپارچه کردن ژنراتور های هم پا با توجه به شین ترمینال آنها

در این روش از شین ترمینال ماشین های همپا برای یکپارچه کردن آنها استفاده می شود.

2-7-2-1 تقلیل شین های ژنراتوری شبکه [53-54]

این مرحله پس از شناسایی ماشین های همپا صورت می گیرد. در این مرحله از طریق انتقال ژنراتورهای همپا بر روی یک شین معادل شین های ژنراتوری را تقلیل می دهیم.

مرحله جایگزینی یک شین معادل به جای شین های ژنراتورهای همپا با توجه به در نظر گرفتن دو اصل زیر صورت می پذیرد:

۱. تبادل توان صورت گرفته بین شین های مرزی و شین های ژنراتوری همپا ثابت باقی بماند.
 ۲. توان تزریقی ژنراتورهای همپا ثابت باقی بماند.
- در ادامه با توجه به دو اصل ذکر شده در انتقال ژنراتورهای همپا بر روی شین معادل خواهیم داشت.

معادلات جبری شبکه را به صورت زیر در نظر بگیرید:

(۴۰-۲)

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_m \\ I_{m+1} \\ \dots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1m} & Y_{1(m+1)} & \dots & Y_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{m1} & \dots & Y_{mm} & Y_{m(m+1)} & \dots & Y_{mn} \\ Y_{(m+1)1} & \dots & Y_{(m+1)m} & Y_{(m+1)(m+1)} & \dots & Y_{(m+1)n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & \dots & Y_{nm} & Y_{n(m+1)} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \dots \\ V_m \\ V_{m+1} \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}$$

که در آنجا m معادله اول مربوط به شین های مرزی گروه همپا و $n-m$ معادله آخر مربوط به شین های گروه همپا می باشد. برای سادگی ارائه روابط شین ها به این صورت در نظر گرفته شده و فقط یک گروه همپا در نظر گرفته شده است که قابل تعمیم به حالت کلی می باشد.

جریان I_b برای شین های مرزی به صورت زیر است:

$$I_b = \sum_{k=1}^m Y_{bk} V_K + \sum_{k=m+1}^n Y_{bk} V_K \quad (۴۱-۲)$$

توان مختلط تزریقی به شین b از معادله زیر به دست می آید:

$$S_b = I_b^* V_b \quad (۴۲-۲)$$

$$S_b = \sum_{k=1}^m V_K^* Y_{bk}^* V_b + \sum_{k=m+1}^n V_K^* Y_{bk}^* V_b \quad (۴۳-۲)$$

در رابطه (43-2) جمله اول معرف قدرت تزریقی در شین b به وسیله شین های مرزی دیگر و جمله دوم بیانگر قدرت تزریقی در شین b به وسیله ژنراتورهای گروه همپا می باشد.

پس از جایگزینی شین های همپا با یک شین معادل، معادلات شبکه به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_m \\ I_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1m} & Y_{1t} \\ \dots & \dots & Y_{mm} & \dots \\ Y_{m1} & \dots & Y_{mm} & Y_{mt} \\ Y_{t1} & \dots & Y_{tn} & Y_{tt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \dots \\ V_m \\ V_t \end{bmatrix} \quad (44-2)$$

با انجام مراحل زیر برای سیستم اولیه داریم:

$$S_b = \sum_{k=1}^m V_K^* Y_{bk}^* V_b + V_t^* Y_{bt}^* V_b \quad (45-2)$$

که جمله اول در سمت راست در این معادله معرف توان تزریقی به شین b توسط شین های مرزی و عبارت دوم توان تزریقی توسط شین معادل می باشد.

با مقایسه معادلات (45-2) و (43-2) در می یابیم که عبارت اول در هر دو معادله یکسان بوده از اینرو برای یکی بودن توان تزریقی در شین ها پس از معادل سازی شین های ژنراتوری همپا باید داشته باشیم:

$$V_t^* Y_{bt}^* V_b = \sum_{k=m+1}^n V_K^* Y_{bk}^* V_b \quad (46-2)$$

پس داریم:

$$Y_{bt} = \sum_{k=m+1}^n \left[\frac{V_K}{V_t} \right] Y_{bk} \quad (47-2)$$

بنابراین با انتخاب ولتاژ در شین معادل ادمیتانسهای Y_{bt} قابل محاسبه می باشند.

ولتاژ شین معادل را معمولاً میانگین ولتاژهای شین های ژنراتورهای همپا در نظر می گیرند یعنی:

$$V_t = \frac{1}{n-m} \sum_{k=m+1}^n V_K \quad (48-2)$$

حال المانهای Y_{bt} و $b=1,2,\dots,m$ در Y_{bus} معادل مشخص شدند. در قدم بعدی برای تعیین المانهای

Y_{tb} و Y_{tt} از اصل حفظ قدرت در شین های گروه همپا استفاده می کنیم.

فرض کنیم c معرف یک شین در گروه همپا باشد. آنگاه توان تزریقی در شین c به صورت زیر

خواهد بود:

$$S_c = \sum_{c=m+1}^n I_C^* V_C \quad (49-2)$$

اگر از معادلات (41-2) و (43-2) شبکه اصلی (تقلیل نیافته) استفاده کنیم داریم:

$$I_C = \sum_{b=1}^m Y_{cb} V_b + \sum_{b=m+1}^n Y_{cb} V_b \quad (50-2)$$

$$S_c = \sum_{b=1}^m \sum_{c=m+1}^n V_b^* Y_{cb}^* V_c + \sum_{b=m+1}^n \sum_{c=m+1}^n V_b^* Y_{cb}^* V_c \quad (51-2)$$

با توجه به معادلات (51-2) و (46-2)، برای سیستم تقلیل یافته رابطه زیر نتیجه خواهد شد:

$$S_c = \sum_{b=1}^m V_b^* Y_{tb}^* V_t + V_t^* Y_{tt}^* V_t \quad (52-2)$$

جمله اول معادلات (52-2) و (51-2) مربوط به توان جاری از شین های گروه همپا (یا شین معادل) به شین های مرزی می باشد. با معادل قرار دادن این دو جمله در معادله مذکور داریم:

$$\sum_{b=1}^m \sum_{c=m+1}^n V_b^* Y_{cb}^* V_c = \sum_{b=1}^m V_b^* Y_{tb}^* V_t \quad (53-2)$$

که نتیجه می دهد:

$$Y_{tb} = \sum_{c=m+1}^n Y_{cb} \left[\frac{V_b}{V_t} \right]^* \quad (54-2)$$

عبارت دوم در معادلات (52-2) و (48-2) معرف قدرت داخلی ژنراتورهای شین های همپا (و شین معادل) خواهد بود، با تساوی قرار دادن این دو عبارت داریم:

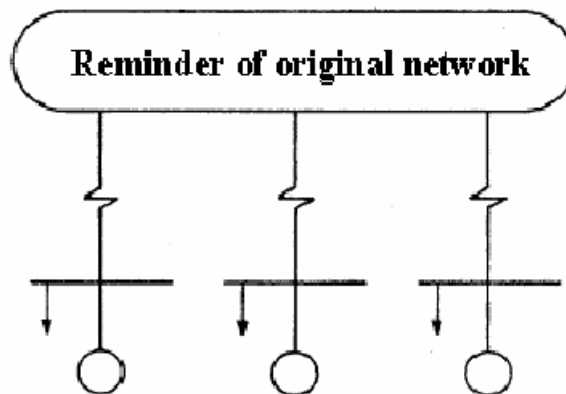
$$Y_{tt} = \sum_{b=m+1}^n \sum_{c=m+1}^n \left[\frac{V_b}{V_t} \right] Y_{cb} \left[\frac{V_c}{V_t} \right]^* \quad (55-2)$$

معادلات (51-2) و (54-2) و (55-2) با توجه به تعریف ولتاژ شین معادل با معادله (17-2) المانهای ماتریس تقلیل یافته را تحت فرض حفظ قدرت جاری تعیین می کنند.

توجه کنید که $Y_{tb} \neq Y_{bt}$ که این مسئله در حقیقت بیانگر وجود شیفت دهنده های فاز بین شین معادل به هر شین مرزی می باشد.

ژرموند⁶⁵ و پادمور⁶⁶ یک بیان فیزیکی برای انتقال ژنراتورهای همپا روی یک شین معادل عنوان کردند که یک مفهوم فیزیکی به معادلات ریاضی منتهی می دهد [55]

سیستم ساده ای که در شکل (1-2) آمده است برای بیان الگوریتم به طور فیزیکی در نظر گرفته شده است .



شکل(2-2)-موقعیت شین های ژنراتورهای همپا در سیستم اصلی [55]

ولتاژ V_t برای شین معادل به صورت میانگینی از ولتاژهای شین های همپا تعریف می شود . هر شین مربوط به ژنراتورهای همپا را با یک ترانسفورماتور ایده آل با نسبت تبدیل مختلط $\tilde{a}_K = \frac{V_K}{V_t}$ به شین معادل متصل می کنیم. با توجه به شرایط همپای نسبت \tilde{a}_K برای هر شین از گروه ثابت است .

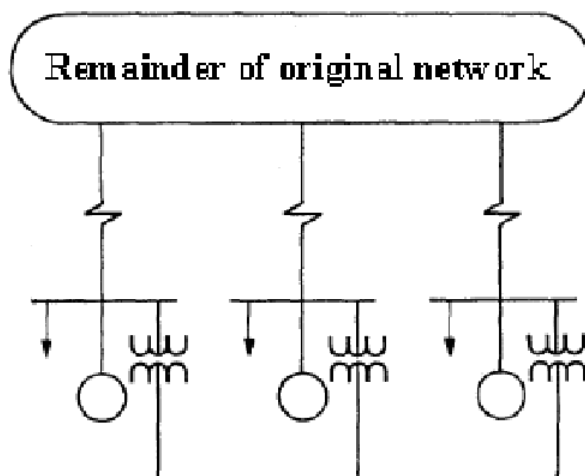
V_k : ولتاژ شین ترمینال ماشین K ام، V_t : ولتاژ شین ترمینال ماشین معادل و \tilde{a}_k : نسبت تبدیل مختلط ترانسفورماتور ایده آل می باشد.

بنابراین توان گردشی در بین شیفت دهنده های فاز برقرار نخواهد شد. از اینرو معرفی این شیفت دهنده های فاز تأثیری در متغیرهای سیستم (ولتاژ و جریانها) نخواهد داشت (شکل 2-2).

شین های ترمینال ژنراتورها معمولاً توسط یک ترانسفورماتور به بقیه سیستم متصل می باشند. اما در بعضی موارد ممکن است یک شاخه مشترک بین شین های همپا وجود داشته باشد. در این مرحله این شاخه با جایگزینی آن با یک ادمیتانس معادل موازی در هر شین ، برداشته می شود (شکل 2-3)

⁶⁵ - Germond

⁶⁶ - Podmore



شکل (2-3) نحوه اتصال باس های ترمینال ژنراتورهای هم پایا با باس های معادل از طریق ترانسفور ماتور ایده آل با نسبت تبدیل مختلط [55]

در شکل 2-3 شین های ژنراتورهای همپا توسط یک ترانس ایده آل با نسبت تبدیل مختلط به یک شین معادل متصل می شوند.

جریان عبوری بین شین های 2 و 3 در شکل (2-3) را در نظر بگیرید:

$$I_{23} = (V_2 - V_3) Y_{23} \quad (56-2)$$

با توجه به شرایط همپای در گروه همپا نسبت $\frac{V_2}{V_3}$ ثابت بوده و جریان I_{23} به صورت یک تابع خطی از V_2 یا V_3 به صورت زیر می تواند نوشته شود:

$$I_{23} = V_3 \left[\frac{V_2}{V_3} - 1 \right] Y_{23}$$

$$I_{23} = V_2 \left[1 - \frac{V_3}{V_2} \right] Y_{23} \quad (57-2)$$

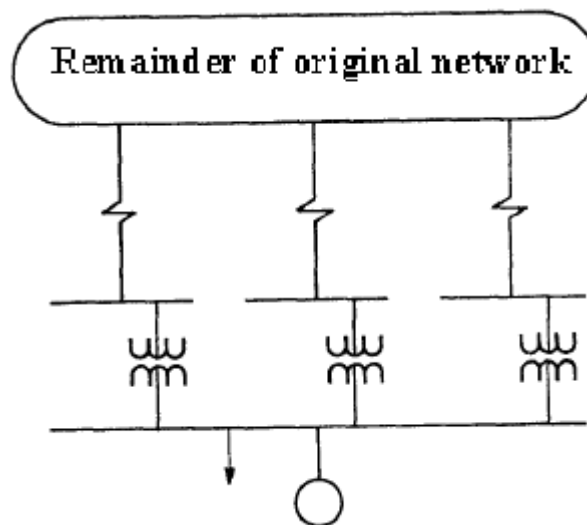
بنابر این اثر شاخه می تواند با جایگزینی یک ادمیتانس موازی برابر $\left[1 - \frac{V_3}{V_2}\right] Y_{23}$ در شین شماره

3 و $\left[1 - \frac{V_2}{V_3}\right] Y_{23}$ در شین شماره **2** در نظر گرفته شود. شکل شماره **(4-2)** شبکه را پس از حذف شاخه نشان می دهد.

ژنراتورها بارها و ادمیتانس های موازی در شین های همپا به شین معادل منتقل می شوند. ژنراتورها و بارها هیچگونه تغییری نمی کنند اما ادمیتانس های موازی با نسبت تبدیل ترانس ایده آل مقیاس می شوند. (البته می توان بارها و ادمیتانس ها را منتقل نکرد در این صورت عناصر در هنگام کاهش شبکه ساده خواهند شد)

در این انتقال هیچ اصلاحی روی ژنراتورها و بارها (غیر از بارهای امپدانس ثابت) صورت نمی گیرد اما ادمیتانس های موازی با توجه به نسبت تبدیل ترانسفورماتور اصلاح می شوند اگر بارهایی به صورت غیر خطی در شبکه اصلی روی شین های ترمینال ماشین های همپا موجود باشند این بارها به طور جداگانه به شین معادل منتقل شده و بقیه بارها ترکیب نمی شوند و با شین های ترانس ایده آل مقیاس می شوند. (شکل شماره **4-2**)

شین های همپا اصلی با ترکیب کردن ترانس ایده آل و شاخه اصلی حذف می شوند. اگر چند شاخه اصلی به شین حذف شده متصل باشند ترانسفورماتور ایده آل با هر یک ترکیب می شود در این مرحله شین های اولیه شین های همپا به وسیله ترکیب سری (در صورت عدم اتصال شین اولیه به بیش از یک خط) این شین های به شاخه های شبکه اصلی و ترانسفورماتور های ایده آل ادغام می شود واضح است که این فرآیند کاهش فقط در روی شاخه هایی تاثیر می گذارد که به این شین ها متصل هستند شرایط پخش بار را دوباره با توجه به شین های معادل جدید تنظیم می کنیم. (شکل شماره **5-2**)



همانطوری که می دانیم در شبکه های واقعی ماتریس ادمیتانس سیستم یک ماتریس تنک⁶⁸ می باشد. حذف شین های باری باعث حذف عناصر صفر در ماتریس Y_{bus} خواهد شد. علت آن اضافه شدن یک شاخه بین شین هایی است که به شین حذف شده متصل بودند، اما به همدیگر متصل نبودند. بنابراین حذف شین های باری ممکن است باعث افزایش تعداد شاخه ها گردد.

تکنیک هایی برای حذف شین های باری همراه با مینیم کردن تعداد شاخه ها ارائه شده است که در آنها شین های اصلی از روی توپولوژی سیستم مشخص می شوند و در سیستم معادل باقی نمانده می شوند. این شین های اصلی، شین هایی هستند که شین های زیادی به آن متصل بوده و با شین هایی که زیر سیستم هایی را که تعداد کمی اتصال دارند، به بقیه سیستم متصل می سازد.

یکی از روشهای رسیدن به شین های اصلی آن است که عمل تقلیل شین ها را انجام داده و در ضمن دیاگرامی که نشاندهنده تعداد شاخه های سیستم است را رسم کنیم و با در نظر گرفتن مینیم تعداد شاخه ها، با شین های باری که باید حذف شوند را پیدا کنیم. البته باز هم ترتیب حذف شین ها می تواند موثر باشد که با در نظر گرفتن مینیم تعداد شاخه های متصل به شین ها به عنوان الویت در حذف، نتیجه بهتری می توان گرفت.

شاخه های امپدانسی معادلی که به عنوان نتیجه حذف شین های باری جایگزین می شوند، در برخی از موارد مقادیر بسیار بالایی دارند. اگر از شاخه های امپدانسی که از حدی بیشتر شده اند صرف نظر کنیم به سیستم معادل کوچکتری می توان رسید و باسهای بیشتری را حذف کرد.

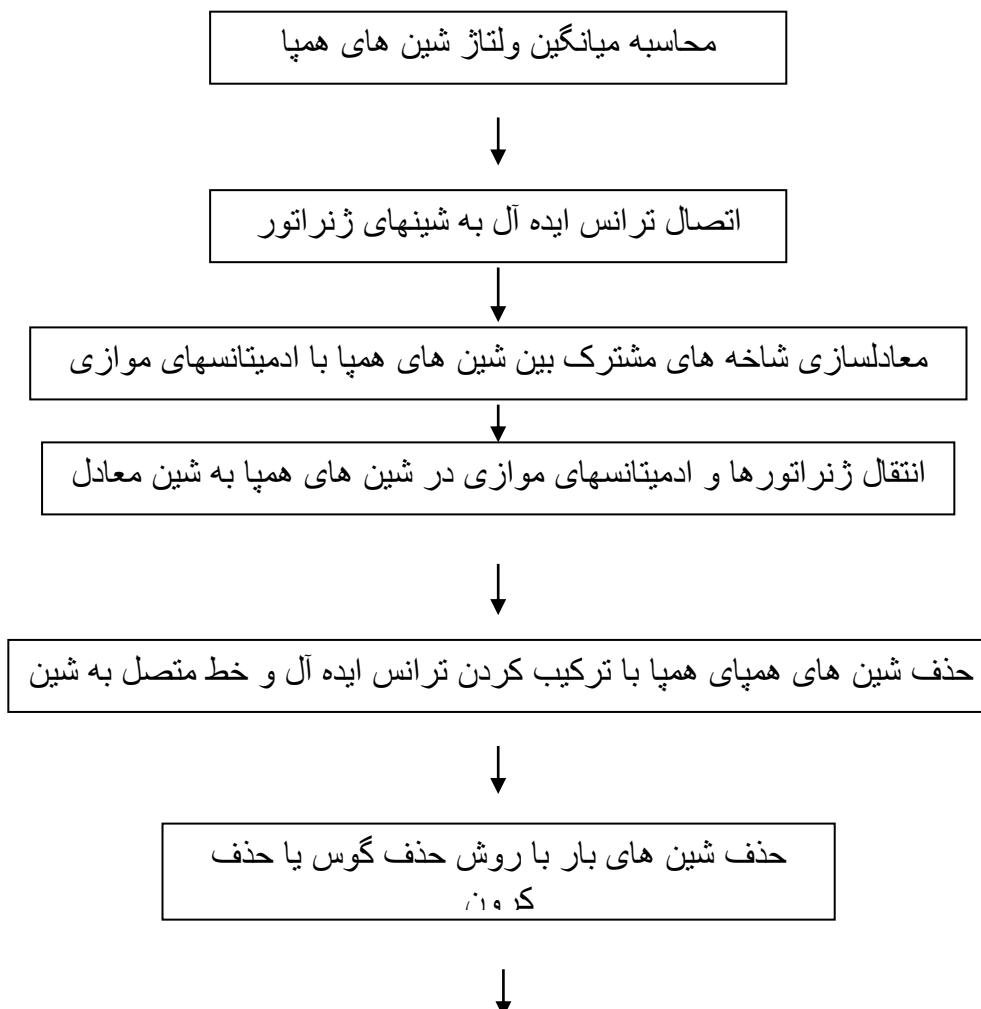
3-2-7-2 جایگزین کردن ژنراتورهای همسان با یک ژنراتور معادل [58-57]

پس از تقلیل شبکه که در بالا عنوان شد وارد مرحله جایگزینی ژنراتورهای همپا با یک ژنراتور معادل می شویم.

مراحلی که تا بدین جا ذکر شد سبب رسیدن به یک شبکه معادل که تعداد باس های کمتری دارد خواهد شد. و تا به اینجا ژنراتورهای همپا، شناسایی شده و همگی به صورت موازی روی یک شین معادل متصل می باشند. ولی هوز دینامیک سیستم تقلیل نیافته است. در این مرحله به جای ژنراتورهای همپا هر گروه روی شین معادل، یک ژنراتور معادل مدل می شود. با این کار دینامیک سیستم تقلیل داده می شود. ژنراتور معادل برای یک گروه ژنراتورهای همپا عبارت است از ژنراتوری که سرعت، ولتاژ، توان الکتریکی و توان مکانیکی آن با مجموعه ژنراتورهای همپا یکی باشد. (البته به ازای اغتشاشی که ژنراتورها به ازای آن همپا باقی بمانند)

⁶⁸ - Sparse matrix

الگوریتم یکپارچه سازی ژنراتورهای همپا بر اساس ترمینال آنها به صورت زیر است:



محاسبه پارامترهای ماشین معادل، توان الکتریکی و مکانیکی و دمپینگ و ثابت اینرسی، برابر مجموع ماشینهای گروه همپا می باشد



محاسبه ولتاژ ثابت پشت راکتانس گذرا و راکتانس گذرای ماشین معادل،

شکل (6-2): فلوجارت یکپارچه سازی ژنراتورهای همپا بر اساس ترمینال آنها

3-7-2 یکپارچه سازی⁶⁹ ماشینهای همپا با توجه به شین داخلی آنها [59-60]

الگوریتم یکپارچه سازی ماشین های هم پا با توجه به شین ترمینال آنها همانطوری که گفته شد باعث به وجود آمدن یک لختی⁷⁰ بیش از حد بین ماشین های هم پا می شود و اینکار باعث افزایش فرکانس مودهای بین ناحیه ای می شود روش هایی که در آنها از شین داخلی ماشین ها استفاده می شود این عیب را به طور چشم گیری کاهش می دهد

دو روشی که برای این کار موجود است عبارتند از : یکپارچه سازی با توجه به سختی ماشین ها و شین داخلی آنها و یکپارچه سازی با توجه به هم پایی کند⁷¹ ماشین ها که در ادامه به توضیح هر یک از این روش ها خواهیم پرداخت در هر دو روش گفته شده از علائم جدول (1-2) و شکل (6-2) برای نمایش دو ماشین استفاده می کنیم.

جدول(1-2) علائم اختصاری برای نمایش کمیت های دو ماشین همپا

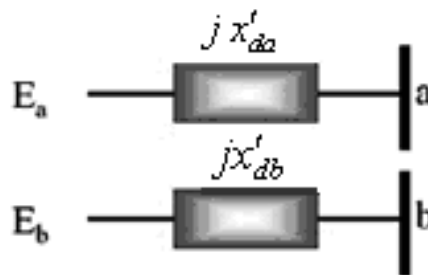
Generator	Machine A	Machine B
Generator terminal bus	a	b
Bus voltage magnitude	V_a	V_b
Bus voltage angle	θ_a	θ_b
Bus load	$P_a + jQ_a$	$P_b + jQ_b$
Bus shunt	$G_a + jB_a$	$G_b + jB_b$

⁶⁹ - Aggregation

⁷⁰ - Inertia

⁷¹ - Slow coherency

Bus injection	$P_{ga} + jQ_{ga}$	$P_{gb} + jQ_{gb}$
Machine inertia	H_a	H_b
Transient reactance	x'_{da}	x'_{db}



شکل (7-2) نمایش یک گروه همپا شامل دو ماشین A و B

باید توجه کرد که هیچ اتصالی بین این ماشین ها در نظر گرفته نشده است و به ویژه اینکه این الگوریتم ها هیچ خط اتصالی را در ناحیه های هم پا حذف نمی کنند. یکپارچه سازی در یک ناحیه همپا می تواند اثر الکتریکی در یکپارچه سازی ناحیه های همپای دیگر داشته باشد. بنابراین خطا در تقریب معادلسازی در کاهش دقت تاثیرگذار است. در یکپارچه سازی، ناحیه های همپایی که شامل باسهای ژنراتوری و باسهای غیر ژنراتوری (گره های PV و PQ) می باشد به گره ترمینال ماشین یکپارچه شده و باسهای غیر ژنراتوری در فرآیند مجتمع سازی نباید در نظر گرفته شوند. گروه های همپا هر کدام در جزئیات مدل ماشین هایشان (پارامترهای فیزیکی ماشین) مستقل می باشند. اگرچه بهبودهای زیادی در استراتژیهای یکپارچه سازی کلاسیک و همپایی انجام گرفته اما نمی تواند دقت لازم را برای شکل گیری پارامترها داشته باشد.

4-7-2 یکپارچه سازی ماشین های همپا با توجه به میزان لختی [59-65]

در این یکپارچه سازی یک باس ترمینال جدید ایجاد کرده و آنرا به باسهای داخلی هر کدام از ژنراتورها از طریق یک ترانسفورماتور متصل می کند راکتانسهای گذرا به ترانسفورماتورهایی که گره داخلی ژنراتور اصلی را حذف می کنند متصل می باشند. به طور مختصر پارامترهای ماشین معادل به صورت زیر می باشد.

پارامترهای ماشین ها از مقدار میانگین وزنی اندوکتانس ها در واحد پریونیت محاسبه می شود.

همچنین مجموع توان اکتیو و راکتیو پشت راکتانس های گذرا باید بوسیله ژنراتور معادل تامین شود. توان نامی ژنراتور معادل مجموع توانهای ژنراتورهای بدست آمده است.

1-4-7-2 الگوریتم یکپارچه سازی لختی⁷²

فرآیند یکپارچه سازی 2 ماشین مذکور با استفاده از الگوریتم یکپارچه سازی لختی به صورت زیر محاسبه می شود. در این روش ولتاژهای گره های داخلی ماشین محاسبه شوند. از توان تزریقی باس، فازور جریان تزریقی ماشین در باس های a و b و فازورهای ولتاژ داخلی ماشینها محاسبه می شود. سپس باس مشترک p ایجاد شود. از ولتاژهای داخلی، با استفاده از ولتاژ وزنی لختی هر یک از ولتاژ داخلی ژنراتور ولتاژ \tilde{V}_p در باس مشترک p ایجاد می شود. خطوط جدید متصل به باس a و باس b در باس p اضافه شود. بنابه تعریف، نسبت تبدیل مختلط ترانسفورماتور از ولتاژهای داخلی در باس مشترک بوسیله رابطه زیر انجام می شود:

$$\tilde{a}_i = \frac{\tilde{V}_p}{\tilde{E}_i} = a_i \arg[\varphi_i], i = a, b \quad (58-2)$$

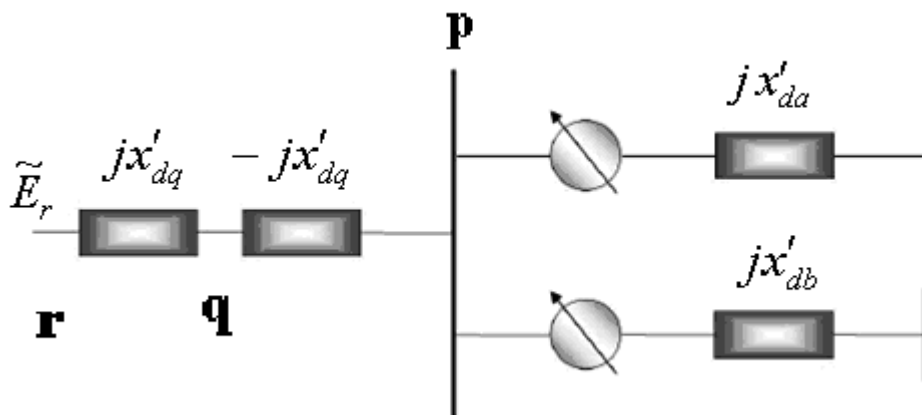
خطوط جدید بر اساس راکتانس گذرای ژنراتور و نسبت تبدیل مختلط ترانسفورمر ولتاژ به باس های a و b در باس p متصل می شوند. پارامترهای خط از باس p به باس i ، زمانیکه $i = a, b$ ، نسبت تبدیل ترانسفورمر مختلط a_i و زاویه شیفت فاز φ_i می باشد.

اینرسی و راکتانس گذرای ماشین معادل به صورت زیر محاسبه می شود:

$$H_q = H_a + H_b \quad (59-2)$$

$$x'_{dq} = \frac{1}{\left(\frac{1}{x'_{da}} + \frac{1}{x'_{db}}\right)} \quad (60-2)$$

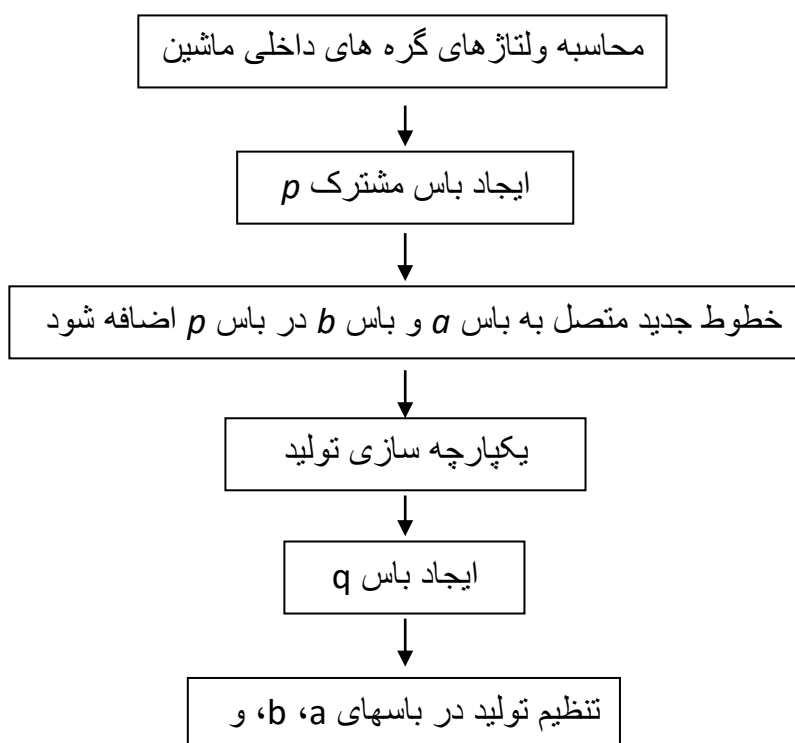
باس q متصل به دو یا تعداد بیشتری باس ها می باشد، و بنابراین، نمی تواند یک گره داخلی ژنراتور به کار رود. باس p به باس q با یک امیدانس خط $-jx'_{dq}$ می شود، که باس r ولتاژ یکسانی با باس q دارد. با گره های جدید، باس q می تواند به عنوان باس ترمینال به کار رود، و باس r نیز باس داخلی ژنراتور معادل است. فازور ولتاژ در باس q بوسیله \tilde{V}_p و ترانس قدرت در باس a و b تنظیم می شود.



شکل (8-2) ایجاد باس p و q

چون باسهای a و b بعد از یکپارچه سازی، باسهای ترمینال تولید نیستند تولید در این باسها صفر در نظر گرفته می شود.

تولید در ترمینال باس جدید q برابر توان انتقالی در باسهای a و b می باشد. باس p بدلیل آنکه ژنراتور یا باری ندارد می تواند حذف شود.

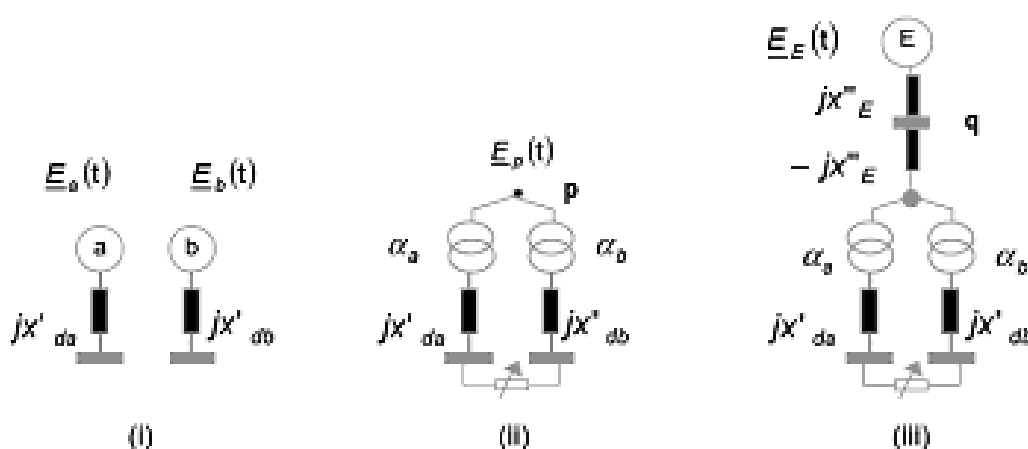


شکل (9-2) فلوجارت یکپارچه سازی ژنراتورهای همپا با توجه به میزان لختی

5-7-2 یکپارچه سازی بر اساس هم پایی کند⁷³ [70-60]

در این روش اتصال گره های داخلی ژنراتور ها از طریق یک امپدانس غیر بی نهایت صورت می گیرد این روش با خطی سازی روابط در ترمینال ژنراتورها آغاز شده و سپس مد های سریع بین دو شین ژنراتورها حذف شده و مدار معادل بر اساس مدل خطی شده کاهش یافته تشکیل می شود.

مراحل شماتیک این روش در شکل زیر آمده است:



شکل (10-2) یکپارچه سازی بر اساس همپایی کند [59]

روند کلی الگوریتم یکپارچه سازی به روش همپای کند به صورت زیر است :

با محاسبه توان و جریان تزریق شده به شین ، یعنی $P_{gi} + jQ_{gi}$ ، ولتاژ گره داخلی ماشین E_i محاسبه می شود. با متوسط گیری از ولتاژگره های داخلی ماشین ها مقدار مختلف ماشین ها مقدار مختلف ولتاژ ماشین m یعنی V_p قابل محاسبه است. معادلات ژنراتورها در باسهای داخلی را خطی سازی می کنیم:

در نقاط تعادل داریم:

$$V_i = V_{i0}, \delta = \delta_{i0}, \theta = \theta_{i0}, E_i = E_{i0}, i = a, b \quad (۶۱-۲)$$

^{۷۳} - Slow coherency aggregation

سپس معادلات نوسان خطی شده به صورت زیر خواهد شد:

$$2H_i \Delta \ddot{\delta}_i = -\frac{E_{i0} V_{i0} \cos(\delta_{i0} - \theta_{i0})}{x'_{di}} \Delta \delta_i - \frac{E_{i0} \sin(\delta_{i0} - \theta_{i0})}{x'_{di}} \Delta V_i + \frac{E_{i0} V_{i0} \cos(\delta_{i0} - \theta_{i0})}{x'_{di}} \Delta \theta_i$$

$$\Delta \bar{I}_i = -\frac{\bar{E}_{i0}}{x'_{di}} \Delta \delta_i + \frac{e^{j\theta_{i0}}}{jx'_{di}} \Delta V_i + \frac{\bar{V}_{i0}}{x'_{di}} \Delta \theta_i \quad (62-2)$$

با تعریف بردار متغیرهای حالت x و بردار متغیرهای حالت جبری Z و بردار تغییرات جریان I به صورت زیر داریم:

$$\Delta \bar{I}_i = -\frac{\bar{E}_{i0}}{x'_{di}} \Delta \delta_i + \frac{e^{j\theta_{i0}}}{jx'_{di}} \Delta V_i + \frac{\bar{V}_{i0}}{x'_{di}} \Delta \theta_i \quad (63-2)$$

حال با روابط 61-2 و 62-2 داریم:

$$\dot{x} = K_1 x + K_2 z \quad (64-2)$$

$$\Delta i = K_3 x + K_4 z \quad (65-2)$$

زمانی که ماشین ها به صورت یک گروه هم پایی آرام (همپای کند) باشند، می توان زاویه مرکزی آنها را به صورت متغیر کند و نوسان بین ماشین ها را به صورت متغیر های تند بدست آورد برای انجام یکپارچه سازی بر مبنای هم پایی کند باید زوایای اصلی ماشین ها به این متغیر های جدید تند و کند تبدیل کنیم. متغیر یکپارچه شده کند δ_s و متغیر محلی کند δ_f به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\delta_s = \frac{H_a \delta_a + H_b \delta_b}{H_a + H_b}$$

$$\delta_f = \delta_b - \delta_a$$

$$(66-2)$$

با بکار بردن تبدیل به مدل خطی شده می توانیم مدل سیستم خطی شده را در دو مقیاس زمانی ماتریس به صورت زیر بیان کنیم .

$$\begin{bmatrix} \Delta \ddot{\delta}_s \\ \Delta \ddot{\delta}_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{13} & K_{14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_s \\ \Delta \delta_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{21} \\ K_{22} \end{bmatrix} z \quad (67-2)$$

با فرض اینکه دینامیکهای سریع به سرعت از بین می روند و حالت شبه ماندگار $\Delta \bar{\delta}_f$ از $\Delta \delta_f$ به صورت زیر می باشد داریم:

$$\Delta \delta_f = -K_{14}^{-1} (K_{13} \Delta \bar{\delta}_s + K_{22} \bar{z}) \quad (68-2)$$

با حذف $\Delta \delta_f$ از دیگر متغیرها در معادله **67-2** داریم

$$\Delta \ddot{\delta}_s = K_{1s} \Delta \bar{\delta}_s + K_{2s} \bar{z}$$

$$\Delta i = K_{3s} \Delta \bar{\delta}_s + K_{4s} \bar{z} \quad (69-2)$$

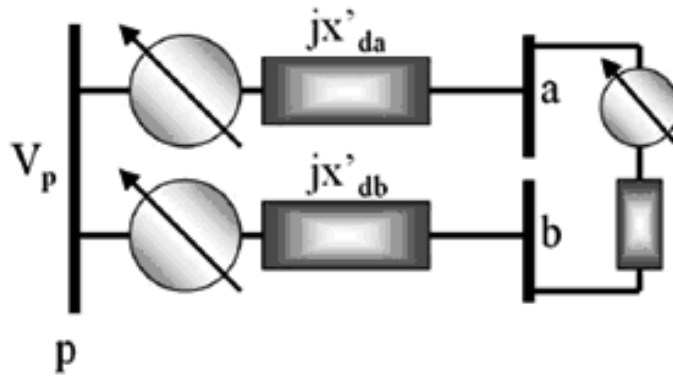
که در اینجا داریم:

$$K_{1s} = K_{11} - K_{12} K_{14}^{-1} K_{13} \quad K_{2s} = K_{21} - K_{12} K_{14}^{-1} K_{22}$$

$$K_{3s} = K_{31} - K_{32} K_{14}^{-1} K_{13} \quad K_{4s} = K_{41} - K_{32} K_{14}^{-1} K_{22} \quad (70-2)$$

از معادله مدل خطی برای زیر سیستم کند بیان شده است. سپس شبکه قدرتی با معادلات خطی سازی شده **(67-2)** ایجاد می شود. ضرایب K_{1s} ، K_{2s} و K_{3s} با توجه به خطوطی که باسهای ترمینال ژنراتور a و b وصل می شوند در نظر گرفته شده و ضریب K_{4s} با توجه به خطوطی که به باسهای a و b مطابق شکل **(8-2)** وصل می شود، در نظر گرفته می شود. بعد از اضافه کردن بارها در این باسها، به منظور متعادل سازی پخش توان، امیدانسیها از K_{4s} ساختار بهتری از K_{2s} دارند که این بدلیل توانایی حذف K_{4s} است.

شکل **(11-2)** مدل خطی شده زیر سیستم کند را نمایش میدهد



شکل (11-2) مدل خطی سازی زیر سیستم کند

برای ماشین معادل تصاویر ثابت لختی (ثابت اینرسی) و راکتانس گذرا از فرمول های زیر بدست می آید (این مقادیر در یک مبنای مشترک محاسبه می شوند)

$$H_{eq} = H_a + H_b \quad (71-2)$$

$$X'_{deq} = \frac{1}{\frac{1}{X'_{da}} + \frac{1}{X'_{db}}} \quad (72-2)$$

چون شین q به چند شین مختلف وصل است به طور معمول نمی تواند به عنوان شین داخلی ماشین معادل در نظر گرفته شود بنابراین مطابق شکل (8-2) از طریق راکتانس ها سری به ترتیب شین های q و r را تولید می کنیم که شین q شین ترمینال ماشین معادل و شین r شین داخلی آن خواهد بود به این ترتیب ولتاژ شین p برابر ولتاژ شین q بوده و هیچ تولید و مصرفی نخواهد داشت لذا می توان در مرحله ساده سازی شبکه به راحتی آن را حذف کرد.

چون باس های a و b دیگر باس تولید کننده نیستند پس توان آنها برابر صفر قرار داده شده است و مجموع این توان ها به باس q منتقل می شود.

6-7-2 یکپارچه سازی غفوریان⁷⁴ و برگ⁷⁵

روش دیگری توسط غفوریان و برگ بیان شده است که در مرجع [61] آورده شده است. در این روش یک ژنراتور معادل می تواند جایگزین ژنراتورهای گروه همپا بر طبق روشهای ریاضی برای شکل گیری شبکه باشد.

⁷⁴ - Ghaforian

⁷⁵ - Berg

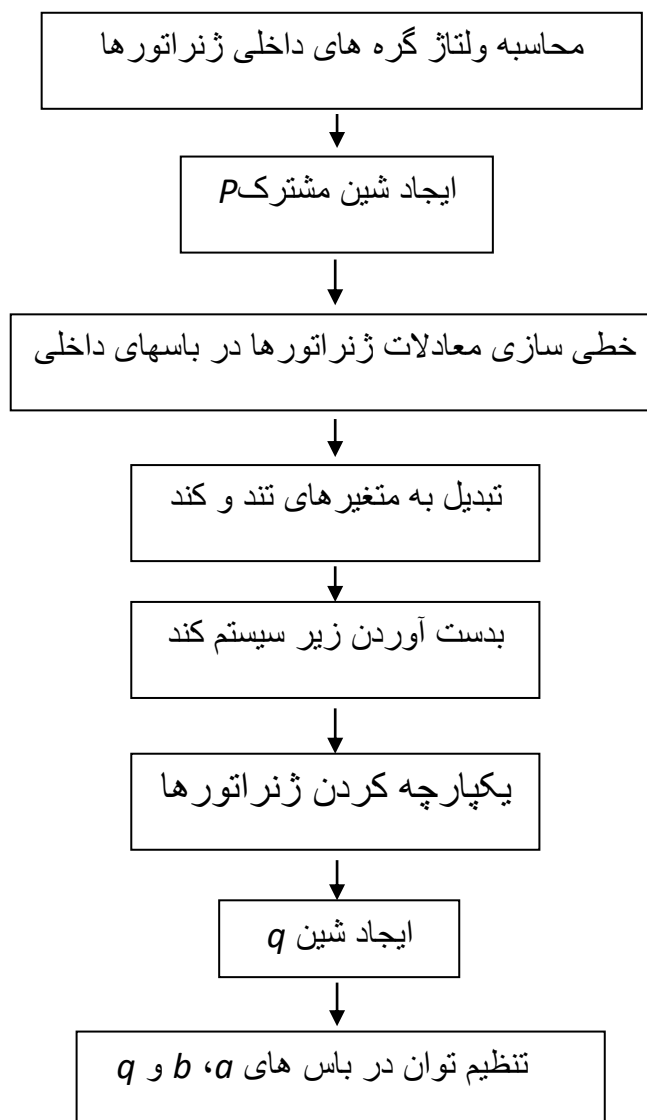
$$(73-2) E_E = \left(\frac{X'_{dNG}}{X'_{dNG-1}} + \bar{a}^* \bar{a} \right)^{-1} \left(\frac{X'_{dNG}}{X'_{dNG-1}} E_{NG-1} + \bar{a}^* E_{NG} \right)$$

که NG و NG-1 ژنراتورهای همپا در یک گروه میباشند.

$$\frac{E_{NG}}{E_{NG-1}} = \bar{a} \quad (74-2)$$

که در این رابطه \bar{a} نسبت تبدیل مختلط ترانس در این روش می باشد. یک گروه همپا با NG ژنراتور می تواند به یک ژنراتور معادل با فرآیند تکرار با حذف یک ژنراتور در یک زمان انجام شود. اینرسی، دمپینگ و توان مکانیکی ژنراتور معادل برابر مجموع ژنراتورهای گروه همپا باشد.

به طور کلی الگوریتم یکپارچه سازی همپایی کند به صورت زیر است:



شکل (12-2) فلوچارت یکپارچه سازی همپایی کند

- [1]. Sung-Kwan Joo, Ch. Liu, J. Choe, "Enhancement of Coherency Identification Techniques for Power System Dynamic Equivalents", Power Engineering Society Summer Meeting 2001, IEEE, Vancouver, Canada, Vol. 3, 15-19, pp. 1811-1816, July 2001.
- [2]. J. H. Chow, "Singular Perturbation, Coherency and Aggregation of Dynamic Systems", IEEE Trans., pp. 6-42, July 1998.
- [3]. A. A. Fouad, V. Vittal, and Tae Kyoo Oh, "Critical Energy for Direct Transient Stability Assessment of A Multimachine Power System," IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-103, No. 8. Aug. 1984, pp. 2199-2206.
- [4]. A. A. Fouad, S. E. Staton, "Transient stability of a multi-machine power system", IEEE Trans., 1981, PAS-100, pp. 3408-3424, 1981.
- [5]. H.E. Brown, R.B. Shipley, D. Coleman and R. Neid Jr., "A Study of Stability Equivalents", IEEE Trans. Vol. PAS-88, Nr. 3, pp. 200-207, 1969.
- [6]. J.M. Undrill, A. Tuner "Construction of Equivalents by Modal Analysis", IEEE Trans. Vol. PAS-90, pp. 2049-2059, 1971.
- [7]. W. Price, E. Gulashenski, P. Kundur, G. Loehr, B. Roth, R. Silva, "Testing of the modal dynamic equivalents techniques", IEEE Tras. on PAS, Vol. 97, pp. 1366-1372, July 1978.
- [8]. S. E. M. de Oliveira, J. F. de Queiroz, "Modal dynamic equivalent for electric power systems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 3, No. 4, pp. 1723-1730, November 1998.
- [9]. S. Geeves, "A modal-coherency technique for deriving dynamic equivalents", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 3, No. 1, February 1988.
- [10]. B. Avramovic, P. V. Kokotovic, J.R. Winkelman, J. H. Chow, "Area decomposition for electromechanical models of power systems", Automatica, Vol. 16, pp. 637-648, 1980.
- [11]. Lj. B. Jovic, M. Ribbens-Pavella and D. Siljak, "Multimachine Power Systems: Stability, Decomposition and Aggregation", IEEE Trans., Vol. AC-23, pp. 325-332, 1978
- [12]. H.E. Brown, R.B. Shipley, D. Coleman and R. Neid Jr., "A Study of Stability Equivalents", IEEE Trans. Vol. PAS-88, Nr. 3, pp. 200-207, 1969.
- [13]. R. A. Date, J. H. Chow, "Aggregation properties of linearized two-time-scale power networks", IEEE Trans. On Circuits and Systems, Vol. 38, No.7, pp. 720-730, July, 1991
- [14]. J. D. McCalley, J. F. Dorsey, J. F. Luini, R. Peter Mackin, G. H. Molina, "Subtransmission reduction for voltage instability analysis", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 3, No. 1, pp. 349-356, March 1993.
- [15]. A. A. Fouad, S. E. Staton, "Transient stability of a multi-machine power system", IEEE Trans., 1981, PAS-100, pp. 3408-3424, 1981.
- [16]. Y. Xue, TH. Cutsem, M. Rubbens-Pavella, "Extended equal area criterion: justifications, generations, applications", IEEE Trans., PWSR-4, pp. 44-52, 1989.

- [17]. J. Machowski, A. Cichy, "External subsystem equivalent model for steady-state and dynamic security assessment", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No.4, pp. 1456-1463, November 1988.
- [18]. M. A. Pai, K. R. Padiyar, C. Radhakrishna, "Transient stability analysis of multimachine AC/DC power system via energy function method", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 100, No.12, pp. 5027-5035, December 1981.
- [19]. P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, New York, 1994.
- [20]. I. J. Perez-Arriaga, C. G. Verghese, F. C. Schwepe, "Selective modal analysis with applications to electric power systems", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 101, No. 9, September 1982.
- [21]. P. M. van Oirsouw, "A dynamic equivalent using modal coherency and frequency response", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 5, No. 1, pp. 289-295, February 1990.
- [22]. A. Chang, M. M. Adibi, "Power system dynamic equivalents", IEEE Trans. On PAS, Vol. 89, pp. 173-175, November, 1970.
- [23]. V. Vital, N. Bhatia, A. A. Fouad, G. A. Maria, H. M. Zein El-Din, "Incorporating of non-linear load models in the transient energy function method", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 1031-1036, August, 1989.
- [24]. R. Podmore, "Identification of coherent generators of dynamic equivalents", IEEE Trans., Vol. PAS-97, pp. 1344-1354, 1978
- [25]. P. W. Sauer and M. A. Pai. Power system dynamics and stability, Prentice Hall, 1998.
- [26]. O. Yucra Lino. Software handbook to PSD and development of intelligent, robust and non-linear models in dynamic equivalencing for interconnected power systems. Report of department of electrical and information systems, sustainable energy concepts. University of Paderbo-rn, October 2005.
- [27]. P. Kundur; L. Wang; S. Yirga, "Dynamic Equivalents for Power System Stability Studies", Fifth Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Recife, Brazil, May 1996.
- [28]. A. Ghafurian, G. J. Berg, "Coherency-based multi-machine stability study", Proc. IEE, Vol. 129, Part-C, pp. 153-160, 1982.
- [29]. T. M. McCauley, "Disturbance dependent electromechanical equivalents for transient stability studies", IEEE Winter Power Meeting, New York, January, 1975.
- [30]. J.M. Undrill, J. Casazza, L.K. Kirchmayer, "Electromechanical Equivalents for Use in Power System Studies", IEEE Trans. Vol. PAS-90, pp. 2060-2071, 1971.
- [31]. J.M. Undrill, J. Casazza, L.K. Kirchmayer, "Electromechanical Equivalents for Use in Power System Studies", IEEE Trans. Vol. PAS-90, pp. 2060-2071, 1971.
- [32]. S.T.Lee, F.C. Schweepe, "Distance measures and Coherency Recognition", IEEE Trans., Vol. PAS-82, pp. 1550-1557, Sept/Oct. 1973.
- [33]. B. Avramovic, P. V. Kokotovic, J.R. Winkelman, J. H. Chow, "Area decomposition for lectromechanical models of power systems", Automatica, Vol. 16, pp. 637-648, 1980.
- [34]. P. V. Kokotovic, B. Avramovic, J. H. Chow, J. R. Winkelman, "Coherency based decomposition and aggregation", Automatica, Vol. 18, pp. 47-56, 1982. Vol. PAS-97, Nr. 4, pp. 1060-1069, 1978.

- [35]. Newell, R. J., Risan, M. D., Allen, L., Rao, K. S., Stuehm, D. L.: Utility experience with coherency-based dynamics equivalents of very large systems. *IEEE Trans. on Power Appar. a. Syst., PAS-104* (1985) no. 11, pp.3056 – 3063
- [36]. G. Rogers. *“Power system oscillations”*, the Kluwer international series in engineering and computer science, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [37]. HAQUE, M.H., and RAHIM, A.H.M.A.: ‘An efficient method of identifying coherent generators using Taylor series expansion’, *IEEE Trans. Power Sysf.*, 1988.3, (3), pp. 1112-1118
- [38]. N. Gacic, A.I. Zecevic and D.D. Siljak, “Coherency Recognition Using Epsilon Decomposition,” *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 13, No 2, pp. 314-319, May 1998.
- [39]. J.R. Winkleman et al "An Analysis of Interarea Dynamics of Multi Machine Systems", *IEEE Tran. Vol. PAS-100, No.2, February 1981*
- [40]. T. L. Baldwin, L. Mili, A. G. Phadke, “Ward-type equivalents for transient stability analysis”, *Proceeding of the IFAC International Symposium on Control of Power Plants and Power Systems*, March 9-11, Munich, Germany, pp.251-255, 1992.
- [41]. M. A. Pai, C. L. Narayama, “Dynamic equivalents using energy functions”, *IEEE PES Summer Meeting*, July 1977.
- [42]. Y. Ohsaya, M. Hayashi, “Coherency recognition for transient stability equivalents using Liapunov function”, *6 th Power System Computation Conference*, Vol.2, pp. 815-818, 1978.
- [43]. S. K. Joo, C. C. Liu, L. Jones and J. W. Choe, “Coherency techniques for dynamic equivalents incorporating rotor and voltage dynamics” *Bulk Power Systems Dynamics and Control–V, Security and Reliability in a Changing Environment*, Hiroshima, Japan, Aug.2001.
- [44]. DE MELLO, RW, PODMORE, R, and STANTON, KN ‘Coherency-based dynamic equivalents: applications in transient stability studies’, *Proc. PICA Con\$*, 1975, pp. 23-31
- [45]. Yaonan Yu. *Electric Power System Dynamics*. Academic Press, New York, 1983.
- [46]. J. H. Chow, *Time-Scale Modeling of Dynamic Networks with Applications to Power Systems*. New York: Springer Verlag, 1982, vol. 46. *Lecture Notes in Control and Information Sciences*.
- [47]. T. Krishnaparandhama, S. Elangovan, A. Kuppurajulu, “Method for identifying coherent
- [48]. M. Jonsson, M. Begovic, and J. Daalder, “A new method suitable for real-time generator coherency determination,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol.19, no.3, pp.1473–1482, 2004.
- [49]. S. B. Yusof, G. J. Rogers, “Slow coherency based network partitioning including load buses”, *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol. 8, pp. 1375-1382, 1993.
- [50]. J. H. Chow, J. Cullum, R. A. Willoughby, “A sparsity-based technique for identifying slow coherent areas in large power systems”, *IEEE Trans. PAS-103, No. 3*, pp. 463-473, march 1984.
- [51]. S. B. Yusof, G. J. Rogers, “Slow coherency based network partitioning including load buses”, *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol. 8, pp. 1375-1382, 1993.
- [52]. A. M. Miah, “Simple dynamic equivalent for fast online transient stability assessment”, *IEE Proceeding, Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 145, No. 1, pp. 49-55, January, 1998
- [53]. M. Hussain, V. Rau, “An efficient and simple method of dynamic equivalent construction for large multi-machine power system”, *IEEE International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, pp. 90-94, Hong Kong, November 1991.

- [54]. L. Wang, M. Klein, S. Yirga and P. Kundur, "Dynamic reduction of large power systems for stability studies", *Power Systems, IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 889-895, May 1997.
- [55]. A. J. Germond, R. Podmore, "Dynamic Aggregation of Generating Unit Models", *IEEE Trans. Vol. PAS-97*, Nr. 4, pp. 1060-1069, 1978.
- [56]. W. Price, J. Choe, A. Hargrave, B. Hurysz, P. Hirsch, "Large-scale system testing of a power system dynamic equivalencing program", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, No. 3, pp. 768-773, August 1998.
- [57]. W. W. Price, B. A. Roth, "Large-scale implementation for dynamic equivalents", *IEEE Trans.*, Vol. PAS-100, pp. 3811-3817, 1981.
- [58]. J. H. Chow, "A toolbox for power system dynamics and control engineering education and research", *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 1559-1564, November, 1992.
- [59]. J.H. Chow and K.W. Cheung, "A Toolbox for Power System Dynamics and Control Engineering Education," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 7, pp. 1559-1564, 1992.
- [60]. J. H. Chow, R. Galarza, P. Accaci, W. Price, "Inertial and Slow Coherency Aggregation Algorithms for Power System Dynamic Model Reduction", *IEEE Trans.*, Vol. 10, pp. 680-685, 1995.
- [61]. G. J. Berg, A. Ghafurian, "Representation of coherency-based equivalents in transient stability studies", *Electric Power Systems, Research*, Vol. 6, pp. 235-241, 1983.
- [62]. Byung Chang, Jin Choo, Sae Kwon, "A reduced order equivalent model of large power systems for the stability analysis", *IEEE*, 2000.
- [63]. R. J. Galarza, J. H. Chow, W. W. Price, A. W. Hargrave, P. M. Hirsch, "Aggregation of exciter models for constructing power system dynamic equivalents", *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 13, No. 3, pp. 782-788, August 1998.
- [64]. L. Rouco, I. J. Perez, "Multi-area analysis of small signal stability in large electric power systems by SMA", *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 8, No.3, pp. 1257-1265, August, 1993.
- [65]. E. Armaca and N. Serifoglu, "A rank correlation-based method for power network reduction," *Electrical Engineering*, vol.85, pp.211-218, 2003
- [66]. O. Badeeb and G. Hazza, "Application of the slow coherency decomposition method to the Yemeni network," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol.41, no.1, pp.56-63, 2004.
- [67]. J. H. Chow "New algorithms for slow coherency aggregation of large power systems", *Systems and Control Theory for Power Systems, IMA Volumens in Mathematics and its Applications*, Vol. 64, pp. 95-115, Springer-Verlag, 1995.
- [68]. Joe H Chow, Pierre Accari and William W. Price, "Inertial and Slow Coherency Aggregation Algorithms for Power System Dynamic Model Reduction," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 2, May 1995.
- [69]. D. T. Bargiotas, "Overstiffeneing of Low Frequency Synchronizing Modes in Reduced Order Power System Models," M. S. Thesis. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, 1986, J. Lawler, thesis advisor.

- [70]. J. H. Chow "New algorithms for slow coherency aggregation of large power systems", *Systems and Control Theory for Power Systems, IMA Volumes in Mathematics and its Applications*, Vol. 64, pp. 95-115, Springer-Verlag, 1995.
- [71]. Y. Lu, "Pattern recognition and Classification", *Proc. Int. Joint Conf. On Neural Networks*, Vol I, pp. 471-476, 1990.
- [72]. A. Hartigan, *Cluster Analysis*, Wiley, New York, 1969.
- [73]. R. Dubes, A.K. Jain, *Algorithms for Clustering Data*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1998.
- [74]. A. Jain, *Clustering Algorithms*, Prentice Hall, New York, 1991.
- [75]. J. Keller, R. Krishnaparum, "A Possibilistic Approach to Clustering", *IEEE Tran. On Fuzzy Systems*, 1(2), pp. 98-110, 1993.
- [76]. P. Michaud, "Pattern recognition techniques", *Future generation computer systems*, pp.145-147, 1997.
- [77]. T. Kohonen, *Self Organizing and Memories*, Springer Verlag, Berlin, 1995.
- [78]. Y. J. Wang and C. T. Lin, "Runge-Kutta neural network for identification of dynamical systems in high accuracy", *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 9, pp. 294-307, Mar. 1998.
- [79]. B. Mirkin, *Mathematical Classification and Clustering*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1996.
- [80]. R. Dubes, A.K. Jain, *Algorithms for Clustering Data*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1998.
- [81]. A. Hartigan, *Cluster Analysis*, Wiley, New York, 1969.
- [82]. Y. Lu, "Pattern recognition and Classification", *Proc. Int. Joint Conf. On Neural Networks*, Vol I, pp. 471-476, 1990.
- [83]. A. Jain, *Clustering Algorithms*, Prentice Hall, New York, 1991.
- [84]. *Visual Numerics: IMSL Fortran 90 MP Library Help, Stat/Library, Volume 2, Chapter 11: Cluster Analysis.*
- [85]. D. L. Massart and L. Kaufman, *Cluster Analysis*, Wiley, New York, 1983.
- [86]. H. J. Mucha, *Clusteranalyse mit Microcomputern*, Akademie Verlag, Berlin, 1992.
- [87]. J. C. Bezdek, *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, New York, 1981.
- [88]. F. Höppner, *Obtaining Interpretable Fuzzy Models from Fuzzy Clustering*, <http://www.etinf.fho-emen.de/~dmlab/fc>, Emden, 2002.
- [89]. J. Bezdek, "On Cluster Validity for the Fuzzy Model", *IEEE Trans. On Fuzzy Systems*, Vol 3, pp. 3-5, 1995.
- [90]. D. Dumitrescu, B. Lazzerini, and L. Jain, *Fuzzy Sets and Their Application to Clustering and Training*, CRC Press, Boca Raton, USA, 2000.
- [91]. generators", *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 3, No. 2, pp. 85-90, 1981. Z. Shuqiang, C. Xianring, and P. Yunjiang, "A reduced order method for swing mode eigenvalue calculating based on fuzzy coherency recognition," in *Proc. Int. Conf. Power Syst. Technol.*, vol. 2, 1998, pp.1402–1405.

- [92]. S-C WANG†, P-H HUANG, C-J WU *and* Y-S CHUANG “Direct Coherency Identification of Synchronous Generators in Taiwan Power System Based on Fuzzy c-Means Clustering” *IEICE TRANS. FUNDAMENTALS*, VOL.E90–A, NO.10 OCTOBER 2007
- [93]. M. Wang and H. Chang, “Novel clustering method for coherency identification using and artificial neural network,” *IEEE Trans.Power Syst.*, vol.9, no.4, pp.2056–2062, 1994.
- [94]. L. Kaufman and P. Rousseeuw, *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1990.
- [95]. L. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1997.

Abstract:

The aim of this thesis is to investigate the effect of clustering methods in the classifying the rotor angle swings in a multi-machine power system. In the clustering based coherency methods, depending on the disturbance location in the power system, the power system classification can be performed with regards to the similar rotor angle swings.

The large power systems consist of many number of buses, lines and synchronous generators, the dynamic studies of this system is time consuming and needs a lot of computations. Thus, the clustering methods are employed in this thesis to determine the coherent generators.

In this thesis, different methods for identification of coherent generators based on clustering methods are used. The unsupervised clustering methods are used in this thesis are hierarchical clustering, K-means clustering and fuzzy C-means clustering. The clustering methods used in this thesis, are based on the similarity matrix. The coherent generators based the three mentioned methods are used to identify coherent generator for 39 bus and 68-bus test systems. To validate the suggested method, the behavior of the equivalent generator for each cluster of coherent generators is obtained. The choose of one of the three clustering

methods is dependent on the data matrix. In this thesis, for the two test systems,
similar results are obtained.