

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**PENGENDALIAN OSILASI *INTER-AREA* SISTEM TENAGA  
LISTRIK MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY***

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*

**FARIADI YUDA SAMPURNA  
NIM. 99.12.083**

**MARET 2005**

AMERICAN UNIVERSITY AND COLLEGE SYSTEM  
INTERNATIONAL DEVELOPMENT CENTER  
5-8 UNIVERSITY AVENUE WASHINGTON  
DISTRICT OF COLUMBIA 20004

AMERICAN UNIVERSITY AND COLLEGE SYSTEM  
INTERNATIONAL DEVELOPMENT CENTER

1971

1971

AMERICAN UNIVERSITY AND COLLEGE SYSTEM  
INTERNATIONAL DEVELOPMENT CENTER

1971

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGENDALIAN OSILASI *INTER-AREA* SISTEM TENAGA  
LISTRIK MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY*

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat  
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro S-1*

Disusun Oleh :

**FARIADI YUDA SAMPURNA**  
NIM. 99.12.083

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
ITN MALANG



Mengetahui,  
Dosen Pembimbing

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

*Sm*  
(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)  
NIP. Y. 103 950 0274

*Widodo*  
(Ir. Widodo Pudji M., MT)  
NIP. Y. 102 870 0171

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

# LEMBAR PERSEMBAHAN

**Pertama-tama penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT yang telah memberi perlindungan, rahmad, karunia dan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini dan solawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.**

Skripsi ini kupersembahkan kepada kedua orang tuaku yakni Bapak T. Subianto dan Ibu Khoiriah (Alm. Mamaku Sutinah S.), Istriku Tercinta Novita Irawati, Kakak-kakaku dan adikku yang mana telah memberi dukungan baik dari segi material ataupun do'a yang tiada henti-hentinya.

Sekali lagi terima kasih ya Pak dan Bu, cuma ini yang bisa ananda ucapkan dan ananda mau minta maaf pabila punya salah selama ini.

Thank to Mr. Widodo lifted a hand and amenity of writer in finishing this skripsi.

terima kasih juga ku ucapkan to temen-temen elektro 99 kelas 1-2 khususnya pada Ubed, Ayu, Aris, Sholeh, Kris (tokmin), Jirin, Arip, Bowo, Gandi n' semuanya yang telah lulus bareng.

Jangan lupain aku klo ada lowongan kerja ya n' kapan traktirannya. Tak lupa juga thanks to Rahmad, Embah Edi, Farit saimo, Aris Bapak, Teguh Sogol dan semuanya yang tak kusebut satu-satu, thanks atas dukungannya selama ini n' kapan lulusnya ? jangan lama-lama dikampus lho kasihan pacar kalian nunggu dinikahin He he he..... n' tak do'ain cepet lulus.

Terakhir penulis ngucapin terima kasih dan minta maaf apabila ada salah pada semuanya baik yang tertulis diatas maupun tidak, Sekali lagi terima kasih. Wassalam

## KATA PENGANTAR

Syukur *Alhamdulillah Robbil'aalamiin* yang pertama penulis ucapkan Kehadlirat *ALLAH S.W.T* yang telah memberikan *Taufik, Hidayah* serta *Inayah-Nya* kepada kita semua dan khususnya kepada penulis sehingga terselesaikannya Skripsi ini dengan baik, serta tidak lupa saya panjatkan syukur kepada *Baginda Rosululloh Muhammad S.A.W* yang telah membawa kita dari *Zaman Jahiliyah* ke *Zaman yang Terang Benderang*. Adapun Skripsi ini dengan judul **“Pengendalian Osilasi *Inter-Area* System Tenaga Listrik Menggunakan Logika Fuzzy”**.

Ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya tak lupa penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. Widodo Pudji M., MT, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, saran dan pemikiran serta dukungannya sehingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Ayahanda T.Suebiantoro dan Ibunda Hj. Khoiria, Almarhumah Mamaku tercinta, Istriku tersayang Novita Irawati, Mertuaku Ibu Kartinah, Kakak-kakaku dan Adikku serta seluruh keluargaku. Terimakasih atas dukungan Moral dan Spiritualnya selama ini.

6. Teman-teman kosku mulai dari kos pertama sampai kos terakhir yang telah membantuku dalam segala hal.
7. Teman-teman Elektro ITN pada umumnya dan Elektro Energi Listrik pada khususnya serta teman-teman semua baik yang kenal maupun tidak kenal.

Pada akhirnya penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kesempurnaan dari skripsi ini, karena penulis menyadari masih banyak yang dapat disempurnakan di dalam skripsi ini. Dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat di kemudian hari. *Amin Yaa Robbal Aalamiin.*

Malang, Maret 2005

Penulis

## ABSTRAK

### PENGENDALIAN OSILASI *INTER-AREA* SISTEM TENAGA LISTRIK MENGUNAKAN LOGIKA *FUZZY*

(Fariadi Yuda S, 99.12.083, TEKNIK ENERGI LISTRIK, 58 halaman)  
(Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji M., MT)

*Kata kunci: Gangguan stabilitas kecil, gangguan stabilitas besar, reaktansi terhubung (switched reactance), aturan dasar, logika fuzzy, kokoh (robush).*

**Abstrak :** Penyaluran daya listrik dengan kapasitas yang besar serta melalui jarak yang jauh sering terbentur masalah stabilitas, stabilitas besar maupun kecil, keduanya akan membatasi kapasitas penyaluran daya. Inilah masalah stabilitas, karena jika terjadi gangguan maka akan timbul osilasi, dan sistem mungkin menjadi tidak stabil. Idealnya osilasi dapat dikecilkan sehingga untuk kembali ke titik operasi awal diperlukan waktu yang singkat. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan di bidang elektronika daya, dengan dibuatnya thiristor yang dapat digunakan untuk menghubungkan (switching) reaktansi seri, yang mana dapat meredam osilasi elektromekanis pada sistem tenaga Skripsi ini adalah mempelajari penggunaan *fuzzy logic controller* untuk menyelesaikan persoalan-persoalan non linier dalam bidang sistem tenaga. Dengan menggunakan deviasi sudut daya dan deviasi kecepatan angular sebagai sinyal *input* pada kendali *fuzzy* maka *output* dari kendali *fuzzy* adalah sinyal yang dapat digunakan untuk mengendalikan reaktansi saluran. Dengan mengatur reaktansi saluran maka osilasi elektromekanis dari sistem tenaga dapat diredam. Redaman mencapai  $23^\circ$  dari  $33^\circ$  untuk setengah siklus pertama setelah gangguan pada gangguan sementara (*temporary faulted*),  $0,5^\circ$  dari  $2^\circ$  untuk gangguan perubahan beban, dan  $52^\circ$  dari  $86^\circ$  pada gangguan besar.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi .....	4
1.6 Sistematika Pembahasan .....	5
1.7 Relevansi .....	6
<b>BAB II TEORI DASAR</b> .....	7
2.1 Stabilitas Sisrem Tenaga .....	7
2.2 Pemodelan Dan Dinamika System Tenaga .....	8
2.2.1 Sistem Dengan Multi Mesin.....	10
2.2.2 Pemodelan Mesin Sinkron.....	10

2.2.3	Persamaan gerak generator sinkron.....	11
2.2.4	Persamaan Ayunan .....	12
2.2.5	Persamaan Sudut Daya .....	14
2.3	Eliminasi Gauss (Reduksi Kron).....	15
2.4	Kapasitor Seri .....	16
2.5	Sistem Eksitasi .....	18
2.5.1	Elemen Sistem Eksitasi .....	18
2.6	Kendali <i>Fuzzy</i> .....	20
2.6.1	Himpunan <i>fuzzy</i> .....	20
2.6.2	Variabel Linguistik.....	23
2.6.3	Fuzzifikasi .....	23
2.6.4	Penyusunan Aturan.....	24
2.6.5	Defuzzifikasi .....	25
<b>BAB III</b>	<b>Analisa Program .....</b>	<b>28</b>
3.1	Model Sistem Tenaga.....	28
3.1.1	Rangkaian Ekuivalen.....	31
3.1.2	Tipe Gangguan .....	32
3.1.3	Persamaan Sudut Daya.....	35
3.2	Model Eksitasi.....	38
3.3	Perancangan Sistem Kendali <i>Fuzzy</i> .....	39
3.3.1	Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	39
3.3.2	Variabel Input.....	41

3.3.3	Penyusunan Aturan Dasar .....	42
3.3.4	Defuzzifikasi .....	43
3.4	Simulasi Sistem .....	44
3.4.1	Stabilitas <i>Inter-area</i> .....	44
3.4.2	Stabilitas <i>Lokal-area</i> .....	45
3.4.3	Pengaturan Reaktansi Saluran.....	46
3.5	Flowchart.....	48
<b>BAB IV ANALISA HASIL DAN SIMULASI .....</b>		<b>51</b>
4.1	Studi Kasus.....	51
4.1.1	Tipe Gangguan Kecil.....	51
4.1.2	Tipe Gangguan Perubahan Beban .....	54
4.1.3	Tipe Gangguan Besar .....	56
4.2	Analisa Hasil .....	58
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>59</b>
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>61</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>62</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Diagram Phasor Mesin Sinkron .....	11
2.2 Model Sederhana Mesin Sinkron .....	11
2.3 Diagram Blok Sistem Kendali Eksitasi Generator Sinkron .....	19
2.4 Definisi Himpunan <i>Fuzzy</i> Secara Diagramatik .....	21
3.1 Model Sistem Tenaga Listrik .....	29
3.2 Rangkaian Ekuivalen Sistem Tenaga .....	32
3.3 Diagram Blok <i>Exciter</i> .....	38
3.4 Fungsi Keanggotaan $S$ .....	40
3.5 Fungsi Keanggotaan $\theta$ .....	40
3.6 Fungsi Keanggotaan $\theta$ .....	41
4.1 Perubahan Sudut Daya Terhadap Waktu <i>Inter-Area</i> Kasus 1 .....	52
4.2 Perubahan Sudut Daya Terhadap Waktu <i>Lokal -Area</i> Kasus 1 .....	52
4.3 Perubahan Sudut Daya Terhadap Waktu <i>Inter-Area</i> Kasus 2 .....	54
4.4 Perubahan Sudut Daya Terhadap Waktu <i>Lokal -Area</i> Kasus 2 .....	55
4.5 Perubahan Sudut Daya Terhadap Waktu <i>Inter-Area</i> Kasus 3 .....	56
4.6 Perubahan Sudut Daya Terhadap Waktu <i>Lokal-Area</i> Kasus 3 .....	57

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
3.1 Data Generator .....	29
3.2 Data Saluran Transmisi .....	30
3.3 Data Beban .....	30
3.4 Data Bus Dan Aliran Daya Dalam Satuan Per Unit.....	30
3.5 Admitansi Jaringan Operasi Normal ( <i>Prefaulted</i> ).....	32
3.6 Admitansi Jaringan Tereduksi Saat Gangguan ( <i>Being Faulted</i> ).....	33
3.7 Data Bus Dan Aliran Daya Dalam Satuan Per Unit .....	33
3.8 Admitansi Jaringan Tereduksi Beban Normal ( <i>Prefaulted</i> ).....	34
3.9 Admitansi Jaringan Tereduksi Saat Beban Putus ( <i>Prefaulted</i> ) .....	34
3.10 Admitansi Jaringan Tereduksi Setelah Gangguan ( <i>Post Faulted</i> ).....	35
3.11 Aturan Dasar.....	42
3.12 Admitansi Jaringan Tereduksi Dengan Kapasitor Seri .....	46
3.13 Admitansi Jaringan Tereduksi Dengan Induktansi Besar .....	46

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada transmisi sistem tenaga listrik dengan daya yang besar dan melalui jarak yang sangat jauh sering menemui permasalahan yang berkaitan dengan stabilitas, baik stabilitas terhadap gangguan yang berskala kecil atau besar. Adanya gangguan tersebut tentu akan membatasi kapasitas penyaluran daya dari sistem tenaga listrik.

Seperti telah diketahui bahwa kapasitas penyaluran daya dari sistem tenaga listrik sangat tergantung pada besarnya reaktansi induktif saluran transmisi, dengan pemasangan kapasitor seri pada jaringan sistem tenaga mampu mengurangi reaktansi pada saluran transmisi dan juga dapat meredam osilasi pada stabilitas *transient*. Karena dengan berkurangnya reaktansi induktif maka amplitudo daya *transient* tersebut menjadi bertambah, sehingga dengan mengatur besarnya reaktansi saluran, maka besarnya amplitudo juga dapat diatur sedemikian hingga dapat memperbaiki karakteristik redaman pada stabilitas *transient*.

Metode kendali yang banyak berkembang selama ini adalah dengan menggunakan teori kontrol optimal. Akan tetapi pendekatan dengan metode kontrol optimal dalam prakteknya mempunyai banyak kelemahan. Sementara penyelesaian secara analitis terbatas pada model-model yang sederhana. Sedangkan penyelesaian secara numerik umumnya memerlukan perhitungan yang rumit dan dibatasi adanya persoalan-persoalan tertentu.

Dalam skripsi ini akan membahas aplikasi dari kendali *fuzzy logic controller (FLC)* untuk peredaman osilasi elektromekanis sistem tenaga listrik, yang mampu memberikan karakteristik kendali yang kokoh dan stabil terhadap perubahan pembebanan dan tipe gangguan .

## 1.2 Perumusan Masalah

Analisa permasalahan ditekankan pada bagaimana kendali fuzzy mampu secara sensitif dan responsif meredam osilasi elektromekanis pada sistem tenaga listrik akibat adanya gangguan baik gangguan skala kecil maupun skala besar.

Permasalahan yang timbul di sini adalah :

- Bagaimana menganalisa dan membuat pemodelan semua dinamika sistem tenaga yang esensial, dari sistem yang sederhana dan sistem multi-mesin yang lebih kompleks, yang menjadi dasar dari objek terkendali, dengan kendali fuzzy.
- Bagaimana menentukan aturan atau rule, parameter-parameter (*tunning parameters*) untuk kendali fuzzy-nya agar dapat mengendalikan perubahan daya listrik pada saluran transmisi akibat gangguan yang terjadi.
- Bagaimana performansi sistem kendali fuzzy yang dapat meredam osilasi sistem tenaga pada kondisi pengoperasian terutama pengaruh perubahan beban dan gangguan hubung singkat, melalui simulasi.

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini menganalisa penggunaan kendali *fuzzy* pada reaktor, kapasitor atau *by pass* untuk meredam osilasi mekanis sistem tenaga listrik akibat dari perubahan daya listrik pada saluran transmisi yang menyebabkan terjadinya gangguan-gangguan pada sistem.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini pembatasan masalah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan *fuzzy logic controller (FLC)* terhadap kompensasi seri pada saluran transmisi .
2. Tipe gangguan yang dibahas adalah
  - Gangguan kecil
  - Gangguan perubahan beban
  - Gangguan besar
3. Power faktor yang diasumsikan adalah 0,9 .
4. Model sistem beserta data diambil dari jurnal dan pembuatan program simulasi, disini menggunakan bahasa pemrograman Delphi 6.
5. Gerakan governor diabaikan dan daya *input* diasumsikan tetap konstan selama periode simulasi
6. Tidak membahas alokasi penempatan kapasitor dan reaktor.

## 1.5 Metodologi

Dalam skripsi ini digunakan metode :

- Studi literatur dari buku, makalah dan jurnal ilmiah.
  - Dalam studi literatur ini dikumpulkan sebanyak mungkin bahan-bahan pokok bahasan yang berasal dari buku, makalah dan jurnal-jurnal ilmiah.
- Pembuatan dan penyelesaian model sistem tenaga, meliputi:
  - Penyelesaian model sebelum, saat dan sesudah gangguan terjadi pada model sistem tenaga.
  - Penyelesaian model sistem tenaga melalui metoda aliran daya, untuk menentukan kondisi operasi awal sistem.
  - Penyederhanaan model sistem tenaga melalui reduksi jaringan untuk mendapatkan reaktansi pengganti jaringan sistem.
- Pembuatan program *fuzzy*.
- Pada pembuatan program *fuzzy* digunakan bahasa Delphi dan terdiri dari beberapa tahap yaitu :
  - Fuzzifikasi, merubah variabel numerik ke variabel *fuzzy* (variabel linguistik).
  - Penyusunan aturan dasar/*rule base controller*.
  - Defuzzifikasi, mengembalikan variabel *fuzzy* ke variabel numerik lagi.
- Pembuatan program simulasi.
  - Pada pembuatan program simulasi, di sini menggunakan bahasa pemrograman Delphi.
- Penyusunan buku sebagai laporan tugas akhir.

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Untuk penulisan skripsi ini sistematika pembahasan diperlukan untuk memperjelas dan memperinci isi serta arah penulisan skripsi. Adapun sistematika tersebut terdiri dari lima bab, yaitu :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas pendahuluan yang berisi tentang latar belakang pengambilan judul tugas akhir, batasan masalah yang melingkupi persoalan-persoalan dalam sistem tenaga listrik, metodologi, sistematika pembahasan, tujuan pembuatan skripsi dan relevansi.

### **BAB II : DASAR TEORI**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai teori Stabilitas sistem tenaga, pemodelan sistem tenaga antara lain: generator sinkron, jaringan transmisi, beban pada jaringan, *exciter*, dan kompensasi seri pada jaringan. Analisis stabilitas *steady-state* dan *transient*, dan teori tentang *fuzzy*

### **BAB III : PERANCANGAN PROGRAM SIMULASI**

Perancangan program simulasi disini akan membahas penyelesaian model sistem tenaga yaitu model sistem tenaga dengan *multi-machines*. Sebelum mendapatkan persamaan *swing* dari model generator sinkron, yang juga dilengkapi *exciter*, dan saluran transmisi, dimana kompensasi seri dihubungkan pada jaringan, dilakukan perhitungan nilai awal

(*operation equilibrium point*) dengan metoda studi aliran daya (*load flow studies*). Kemudian jaringan reaktansi saluran direduksi hingga pada bus *internal* tiap-tiap generator. Dari pemodelan tersebut akan dicari setiap keadaan sebelum, saat, dan sesudah sistem mendapatkan gangguan. Kemudian dari masing-masing kondisi tersebut akan disimulasikan melalui program.

#### **BAB IV : SIMULASI DAN ANALISIS**

Pada bab ini akan dilakukan simulasi program untuk mengetahui bentuk karakteristik redaman osilasi elektromekanis dengan penambahan kompensasi seri dengan penggunaan *fuzzy logic controller (FLC)* pada jaringan transmisi dibandingkan tanpa kendali *fuzzy*. Kemudian menganalisis hasil respon yang dihasilkan oleh masing-masing sistem tersebut.

#### **BAB V : PENUTUP**

Pada bab ini berisikan kesimpulan dari keseluruhan proses pada skripsi.

### **1.7 Relevansi**

Dengan adanya perkembangan teknologi di bidang elektronika daya maka pengendalian osilasi elektromekanis melalui kompensasi seri dengan kendali *fuzzy* ini sangat mungkin dilakukan dan pada akhirnya diharapkan dapat diterapkan pada saluran-saluran transmisi jarak jauh.

## BAB II

### TEORI DASAR

#### 2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik telah menjadi perhatian utama dalam pengoperasian sistem. Kondisi tersebut timbul dari kenyataan bahwa pada kondisi normal, kecepatan rata-rata semua generator harus tetap konstan dimanapun didalam sistem. Kemudian dikatakan sistem tersebut beroperasi secara sinkron (*synchronous operation*). Adanya gangguan pada sistem yang berskala besar atau kecil dapat mempengaruhi operasi sinkron tersebut. Seperti penambahan dan hilangnya beban secara mendadak dalam jumlah yang relatif besar, atau pemutusan saluran transmisi akibat adanya beban lebih atau gangguan hubung singkat, maka operasi sinkron akan terpengaruh. Kestabilan dari sebuah sistem akan menentukan apakah sistem tersebut dapat melewati masa *transient* menuju kondisi yang sama dengan kondisi stabil awal atau pada kondisi stabil yang baru. Seperti disebutkan diatas bahwa gangguan pada sistem dibagi menjadi dua kategori yaitu: (a) kecil, dan (b) besar. Perubahan beban atau pembangkitan dapat dikategorikan sebagai gangguan kecil (*small disturbance*). Putusnya saluran dapat dianggap sebagai gangguan kecil jika aliran daya pada saluran tersebut tidak signifikan. Akan tetapi jika sampai mengakibatkan turun naiknya tegangan pada bus (*dip*), maka tipe gangguan tersebut termasuk dalam kategori gangguan besar (*large disturbance*). Sehingga tindakan pemutusan harus dilakukan untuk

menghilangkan gangguan tersebut. Karena lamanya gangguan sangat berpengaruh terhadap stabilitas sebuah sistem.

Untuk tujuan analisa sistem, stabilitas sistem tenaga dibagi dalam dua bagian:

Stabilitas kondisi mantap (*steady-state stability*)

Jika terjadi gangguan pada sistem, maka sistem akan mencapai kondisi mantap yang sama atau mendekati dengan kondisi sebelum terjadinya gangguan.

Stabilitas transien (*transient stability*)

Jika terjadinya gangguan besar (*large disturbance*) pada sistem, sistem dapat mencapai kondisi mantap (*steady-state*) yang baru.

## 2.2 Pemodelan dan Dinamika Sistem Tenaga

Secara konvensional sistem tenaga dibagi menjadi tiga bagian besar yaitu: bagian pembangkitan (*generation*), bagian penyaluran (*transmission*), dan bagian distribusi (*distribution*). Pada area pembangkitan terdapat komponen-komponen pembangkitan antara lain: generator dengan *prime mover*, *exciter* dan *automatic voltage regulator* (AVR).

Generator sinkron dapat membangkitkan atau menyerap daya reaktif tergantung dari eksitasinya. Apabila generator mengalami *over excited* maka akan membangkitkan daya reaktif, dan jika *under excited* maka akan menyerap daya reaktif. Kemampuan mensuplai atau menyerap daya reaktif secara terus-menerus dibatasi oleh arus medan, arus jangkar dan temperatur kerja generator. Generator secara normal dilengkapi dengan AVR (*automatic voltage regulator*) yang secara terus-menerus mengatur eksitasi sebagai pengaturan tegangan jangkar.

Saluran transmisi tergantung pada arus beban baik menyerap atau mensuplai daya reaktif. Pada beban-beban dibawah beban *natural* (impedansi surja) saluran transmisi menghasilkan daya reaktif murni. Pada beban diatas beban *natural* maka saluran transmisi menyerap daya reaktif.

Transformator selalu menyerap daya reaktif apapun beban yang terpasang, saat tanpa beban efek dari reaktansi magnetis gandeng mendominasi penyerapan, pada saat beban penuh induktansi bocor seri mendominasi penyerapan.

Beban umumnya menyerap daya reaktif. Tipe bus beban disuplai oleh sistem daya yang disusun dari peralatan-peralatan dalam jumlah yang besar. Perubahan komposisi tergantung pada kondisi hari, musim dan cuaca. Karakteristik gabungan umumnya menyerap daya reaktif sebagaimana juga bus beban. Baik daya aktif maupun daya reaktif dari berbagai gabungan beban sebagai fungsi dari besaran tegangan (magnitudo tegangan). Beban-beban dengan power faktor rendah menyebabkan drop tegangan pada saluran transmisi dan tidak ekonomis. Pengguna industri umumnya disediakan daya reaktif sebagaimana juga daya aktif, hal ini memberikan kemudahan untuk memperbaiki *power factor* beban dengan menggunakan kapasitor.

Peralatan kompensasi umumnya ditambahkan untuk mensuplai atau menyerap daya reaktif sehingga mampu mengontrol keseimbangan daya reaktif sesuai yang diinginkan.

### 2.2.1 Sistem Dengan Multimesin

Langkah pertama dalam analisis stabilitas transien adalah menyelesaikan *load flow* awal dan menentukan besaran tegangan bus awal serta sudut fasa. Arus mesin sehubungan dengan gangguan dapat dihitung dari persamaan :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.1)$$

Dimana  $V_i$  merupakan tegangan terminal dari generator,  $P_i$  dan  $Q_i$  merupakan daya nyata dan daya reaktif generator ke- $i$ , Semua nilai yang tidak diketahui ditentukan dari solusi awal *power flow*. Resistansi jangkar generator biasanya diabaikan dan tegangan dibelakang reaktansi transient diperoleh dari:

$$E_g = V + I_a jX'_d \quad (2.2)$$

### 2.2.2 Pemodelan Mesin Sinkron

Untuk mesin model sederhana, seperti pada gambar 2.1, tegangan induksi per fasa keadaan *steady-state* adalah:

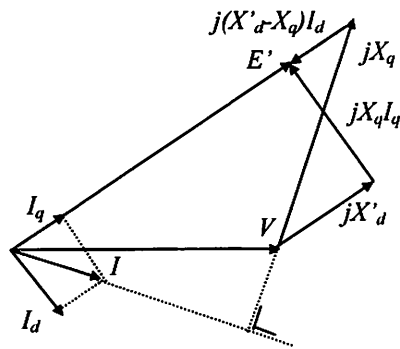
$$E = V + jX_d I_d + jX_q I_q \quad (2.3)$$

$$\text{dimana: } I = I_d + I_q$$

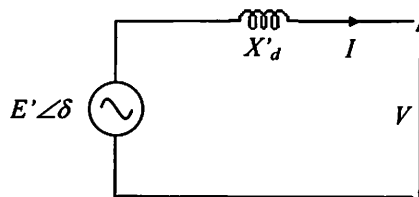
pada kondisi *transient*  $X_d \rightarrow X'_d < X_q$

sehingga persamaan diatas menjadi:

$$\begin{aligned} E' &= V + jX'_d I_d + jX_q I_q \\ E' &= V + jX_q (I - I_d) + jX'_d I_d \\ E' &= (V + jX_q I) + j(X'_d - X_q) I_d \end{aligned} \quad (2.4)$$



**Gambar 2.1** Diagram fasor mesin sinkron



**Gambar 2.2** Model sederhana mesin sinkron

### 2.2.3 Persamaan Gerak Generator Sinkron

Adalah sangat penting untuk mengetahui persamaan gerak untuk analisa stabilitas sistem tenaga yaitu persamaan putaran inersia untuk melukiskan efek dari ketidakseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik pada mesin.

Energi kinetik pada poros mesin sinkron adalah:

$$KE = \frac{1}{2} J \omega_m^2 \times 10^{-6} \text{ MJ} \tag{2.5}$$

yang mana:  $\omega_B = \frac{p}{2} \omega_m$  adalah kecepatan rotor (elect-rad/s)

$$KE = \frac{1}{2} J \left(\frac{2}{p}\right)^2 \omega_B^2 \times 10^{-6} \times \omega_B \text{ MJ} \tag{2.6}$$

$$KE = \frac{1}{2} M \omega_B \text{ MJ} \quad (2.7)$$

$$M = J \left( \frac{2}{p} \right)^2 \omega_B \times 10^{-6} \text{ MJ-s/elect-rad} \quad (2.8)$$

$$S_B H = KE = \frac{1}{2} M \omega_B \text{ MJ} \quad (2.9)$$

$$M = \frac{2S_B H}{\omega_B} = \frac{S_B H}{\pi f} \text{ MJ-s/elect-rad} \quad (2.10)$$

$$\bar{M} = \frac{M}{S_B} = \frac{2H}{\omega_B} \text{ pu} \quad (2.11)$$

yang mana:

$J$  = momen inersia rotor ( $\text{kg-m}^2$ )

$\omega_m$  = kecepatan sinkron (radian-mekanis)

$\omega_B$  = kecepatan rotor (radian-elektris)

$p$  = jumlah kutub

$M$  = momen inersia (MJ-s/elect-radian)

$S_B$  = Daya base (MVA)

$H$  = konstanta inersia (MJ/MVA)

#### 2.2.4 Persamaan Ayunan

Gerak rotor digambarkan dengan persamaan berikut ini:

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_m - T_e \text{ Nm} \quad (2.12)$$

dimana:

$T_m$  = torsi input mekanis dalam N.m

$T_e$  = torsi elektromagnetis dalam N.m

$J$  = momen inersia dalam kg.m<sup>2</sup>

$\theta_m$  = kecepatan angular dari rotor dalam rad/s

Selama rotor berputar secara dinamis, kecepatan rotor berubah tetapi tidak signifikan. Maka persamaan 2.10 dapat dikonversi dalam bentuk daya dengan mengalikan kecepatan rotor  $\omega_m$  dan mengasumsikan kecepatan rotor adalah konstan pada kecepatan sinkron.

$$M \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} \times 10^{-6} = P_m - P_e \text{ MW} \quad (2.13)$$

dimana:

$$M = J \omega_m$$

$$\theta_m = \omega_m t + \delta_m \quad (2.14)$$

dengan mensubstitusikan persamaan 2.13 ke persamaan 2.10

maka:

$$M \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.15)$$

dimana:

$\omega_m$  = kecepatan angular rata-rata dari rotor dalam rad/s,

$\delta_m$  = sudut angular rotor terhadap referensi dalam radian

$\delta$  = sudut beban =  $\delta_m p/2$

atau 
$$M \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.16)$$

Jika dinyatakan dalam pu maka persamaan 2.17 dibagi dengan daya base  $S_B$ , sehingga menjadi:

$$\frac{M}{S_B} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = \bar{P}_m - \bar{P}_e \quad (2.17)$$

Persamaan ayunan menggambarkan ayunan sudut  $\delta$  rotor selama gangguan. Untuk analisa pada kinerja dinamis dari sistem tenaga, model komponen diekspresikan dalam bentuk ruang keadaan (*state space*). Dan dinyatakan dalam persamaan diferensial orde dua berikut ini:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \delta}{dt^2} &= \frac{1}{2H} (P_m - P_e) \\ \frac{d\delta}{dt} &= \omega_m - \omega_B \end{aligned} \quad (2.18)$$

### 2.2.5 Persamaan Sudut Daya

Untuk tujuan studi stabilitas tegangan emf generator diasumsikan tetap. Sedangkan beban dapat digantikan dengan admitansi statis yang terhubung paralel dengan jaringan. Maka persamaan sudut daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{ei} = E_i E_i G_{ii} + \sum_{j=1}^n E_i E_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (2.19)$$

dimana :

$$j \neq i$$

$E_{j,i}$  = tegangan emf generator ke i/j

$G_{ii}$  = konduktansi dari Matrik  $Y_{BUS}$

$Y_{ij}$  = admitansi dari Matrik  $Y_{BUS}$

$\delta_{i,j}$  = sudut daya dari generator ke i/j

$\gamma_{ij}$  = sudut daya dari jaringan dari bus i ke j

### 2.3 Eliminasi Gauss (Reduksi Kron)

Eliminasi gauss memindahkan (menggeserkan) yg dibutuhkan untuk matrik invers ketika memecahkan persamaan titik pada sebuah system tenaga skala besar. Dengan pemberian angka yang selektif pada system bus, kita dapat mengaplikasikan eliminasi gauss dengan tujuan untuk mengurangi persamaan  $Y_{bus}$  pada keseluruhan system untuk di set ketika hanya terdiri dari bus tegangan pada daerah tertentu.

Arus masukan selalu nol pada bus-bus tsb yg terletak pada jaringan dimana disana tidak terdapat beban eksternal atau penghasil sumber yang dihubungkan. Sperti halnya bus-bus yang tidak selalu perlu untuk menghitung tegangan secara eksplisit, dan juga kita dapat mengeliminasi-nya dari pernyataan tadi.

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix}$$

dan eliminasi titik 1 berikut, kita dapatkan system 3 x 3

$$\begin{bmatrix} Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix}$$

Beberapa system dengan titik-titiknya dengan arus injeksi nol telah dieliminasi yang disebut menjadi *reduced Kron*. Dengan demikian, system mempunyai

bentuk particular pada persamaan 4 x 4 adalah *reduced Kron* untuk persamaan 3 x 3.

sebuah sistem dapat menjadi *reduced kron* tanpa harus mempunyai pengaturan ulang persamaan seperti dalam persamaan 4 x 4. Pengurangan bus matrik admitansi dengan memilih  $Y_{pp}$  sebagai pivot dan dengan mengeliminasi bus  $p$  menggunakan rumus :

$$Y_{jk(\text{baru})} = Y_{jk} - \frac{Y_{jp} Y_{pk}}{Y_{pp}} \quad (2.20)$$

dimana  $j$  dan  $k$  mengambil seluruh nilai integer dari 1 hingga  $n$  kecuali  $p$  ketika baris  $p$  dan kolom  $p$  yang akan dieliminasi.

## 2.4 Kapasitor Seri

Kapasitor seri dihubungkan secara seri dengan penghantar saluran sebagai kompensasi reaktansi induktif saluran, yang akan mengurangi transfer reaktansi antara bus dimana saluran terhubung, menaikkan daya maksimum yang dapat disalurkan, dan mengurangi rugi daya reaktif efektif ( $I^2X$ ). Walaupun kapasitor seri tidak biasa dipasang sebagai pengaturan tegangan seperti yang dilakukan untuk pengaturan perbaikan tegangan dan keseimbangan daya reaktif. Daya reaktif dihasilkan oleh kapasitor seri akan meningkat dengan peningkatan transfer daya, dalam hal ini kapasitor seri diatur sendiri (*self regulating*).

Karena kapasitor seri memberikan pembebanan ekonomis pada saluran transmisi yang panjang, penggunaannya pada sistem transmisi tegangan tinggi

telah meningkat khususnya digunakan untuk memperbaiki stabilitas sistem dan menentukan pembagian beban yang diinginkan pada saluran paralel.

Kompensasi lengkap pada saluran tak pernah dipertimbangkan. Pada kompensasi 100 % reaktansi saluran efektif bernilai nol, dan arus saluran serta aliran daya akan menjadi sangat-sangat sensitif untuk mengubah sudut relatif dari tegangan terminal. Dalam hal ini rangkaian menjadi resonansi seri dalam frekwensi yang fundamental. Kompensasi tinggi juga menaikkan kompleksitas rele-rele pengaman dan probabilitas resonansi sub-sinkron. Secara praktis diatas batas derajat kompensasi seri adalah 80 %. Bukan merupakan hal yang praktis untuk menyalurkan kapasitansi dalam jumlah kecil sepanjang saluran, jadi kapasitor dipasang pada lokasi tertentu sepanjang saluran. Sekelompok kapasitor seri menghasilkan bentuk tegangan yang tidak seragam.

Beberapa pertimbangan dalam penggunaan bank kapasitor seri: Kenaikan tegangan yang disebabkan oleh arus reaktif. Kenaikan tegangan pada salah satu sisi kapasitor terlalu besar bila arus reaktif saluran yang mengalir tinggi, sebagaimana yang terjadi selama ayunan daya atau transfer daya yang besar.

*Bypassing* dan *reinserting*. Adalah kapasitor seri secara normal ditempatkan pada tegangan yang memerlukan pengaturan pada saluran, yaitu beberapa persen dari tegangan ratingnya. Akan tetapi jika saluran dihubungsingkatkan oleh gangguan melewati kapasitor, tegangan pada saluran akan mengisi kapasitor. Sehingga aturan dibuat untuk menghubungkan langsung (*by-pass*) kapasitor selama gangguan dan pengisian kembali setelah gangguan

hilang. Kecepatan pengisian kembali menjadi faktor yang penting dalam mempertahankan stabilitas transient.

Lokasi kapasitor seri secara teoritis ditempatkan dimana saja sepanjang saluran. Faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi antara lain biaya, daya jangkau, gangguan, pertimbangan rele pengaman, bentuk tegangan dan efektivitas perbaikan kapasitas transfer daya.

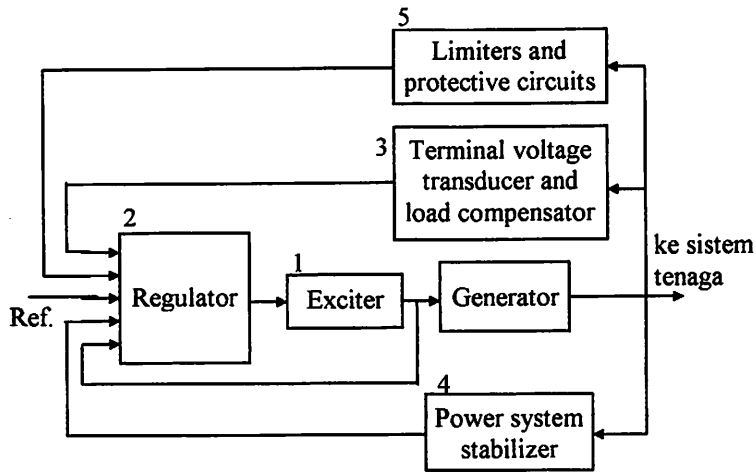
## **2.5 Sistem Eksitasi**

Fungsi dasar dari sistem eksitasi adalah menyediakan arus dc ke kumparan medan dari generator sinkron. Sistem eksitasi melakukan kendali dan fungsi pengaman untuk kinerja dari sistem tenaga listrik dengan mengendalikan tegangan dan arus medan.

Sebagai fungsi kendali ia akan mengendalikan tegangan dan aliran daya reaktif serta peralatan stabilitas sistem. Sebagai fungsi pengaman, sistem eksitasi akan meyakinkan bahwa batas kemampuan dari mesin sinkron dan peralatan yang lain tidak akan melampaui batas operasinya.

### **2.5.1 Elemen Sistem Eksitasi**

Gambar 2.35 menunjukkan diagram blok sistem kendali eksitasi untuk generator sinkron dengan kapasitas besar.



**Gambar 2.3** Diagram blok sistem kendali eksitasi untuk generator sinkron

Keterangan blok :

1. *Exciter*. Menyediakan daya dc ke kumparan medan dari generator.
2. *Regulator*. Memproses dan menguatkan sinyal kendali masukan ke level dan bentuk yang sesuai untuk kendali dari *exciter*.
3. *Terminal voltage transducer and load compensator*. Sebagai pengindera atau sensor dari tegangan terminal generator, menyearahkan dan membandingkan referensi dengan perubahan tegangan.
4. *Power system stabilizer*. Menyediakan tambahan sinyal masukan *regulator* untuk meredam osilasi sistem tenaga.
5. *Limiters and protective circuit*. Meyakinkan batas kemampuan dari *exciter* dan generator agar tidak melampaui batas operasinya.

## 2.6 Kendali Fuzzy

### 2.6.1 Himpunan Fuzzy

Suatu himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*)  $A$  dalam semesta pembicaraan (*universe of discourse*)  $U$  dinyatakan dengan fungsi keanggotaan (*membership function*)  $\mu_A$ , yang harganya berada dalam interval  $[0, 1]$ . Secara matematika hal ini dinyatakan dengan:

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1] \quad (2.21)$$

Himpunan *fuzzy*  $A$  dalam semesta pembicaraan  $U$  biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen  $u$  ( $u$  anggota  $U$ ) dan besarnya derajat keanggotaan (*grade of membership*) elemen tersebut,  $\mu_A$ , sebagai berikut:

$$A = \{(u, \mu_A(u) / u \in U)\} \quad (2.22)$$

Tanda ‘/’ digunakan untuk menghubungkan sebuah elemen dengan derajat keanggotaannya. Jika  $U$  adalah diskrit, maka  $A$  bisa dinyatakan dengan:

$$A = \mu_A(u_1) / u_1 + \dots + \mu_A(u_n) / u_n \quad (2.23)$$

atau

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i \quad (2.24)$$

Dan jika  $U$  adalah kontinyu, maka himpunan *fuzzy* bisa dinyatakan dengan :

$$A = \int_U \mu_A(u) / u \quad (2.25)$$

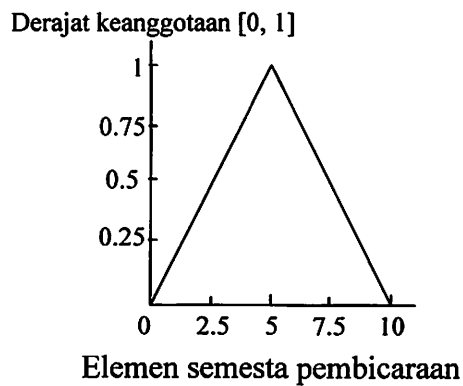
Tanda ‘+’, ‘ $\Sigma$ ’, dan ‘ $\int$ ’ menyatakan operator union (gabungan). Sebagai contoh, untuk semesta pembicaraan ‘bilangan cacah yang kurang dari 10’ dan himpunan *fuzzy*  $A$  yang didefinisikan sebagai ‘bilangan yang dekat dengan 5’, dinyatakan:

$$A = 0/0 + 0.2/1 + 0.4/2 + 0.6/3 + 0.8/4 + 1.0/5 + 0.8/6 + 0.6/7 + 0.4/8 + 0.2/9.$$

Penyajian himpunan *fuzzy* A secara diagramatik ditunjukkan pada gambar 2.1.

Proses untuk mendapatkan besarnya derajat keanggotaan masukan yang berupa suatu variabel numerik non-*fuzzy* (elemen himpunan) dalam suatu himpunan *fuzzy* disebut fuzzifikasi (*fuzzyfication*).

Penentuan keanggotaan suatu himpunan *fuzzy* tidak dibatasi oleh aturan-aturan tertentu. Sebagai contoh adalah T (triangular).



**Gambar 2.4** Definisi himpunan *fuzzy* A secara diagramatik

Triangular-*function*

Triangular-*function* didefinisikan sebagai berikut:

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.26)$$

$$(2.27)$$

$$(2.28)$$

Operasi dasar himpunan *fuzzy* untuk himpunan *fuzzy* A dan B pada semesta pembicaraan U antara lain:

### *Equality*

$$\mu_A(u) = \mu_B(u), u \in U \quad (2.29)$$

### *Union*

$$\mu_{(A \cup B)}(u) = \max \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}, u \in U \quad (2.30)$$

### *Intersection*

$$\mu_{(A \cap B)}(u) = \min \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}, u \in U \quad (2.31)$$

### *Complement*

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u), u \in U \quad (2.32)$$

Jika himpunan A dan  $\bar{A}$  adalah komplemen, maka berlaku aturan sebagai berikut:

$$\mu_{(A \cap \bar{A})}(u) = \min \{ \mu_A(u), \mu_{\bar{A}}(u) \} \leq 0.5 \quad (2.33)$$

$$\mu_{(A \cap \bar{A})}(u) = \max \{ \mu_A(u), \mu_{\bar{A}}(u) \} \geq 0.5 \quad (2.34)$$

### *Normalization*

$$\mu_{NORMAL(A)}(u) = \mu_A(u) / \max(\mu_A(u)), u \in U \quad (2.35)$$

### *Consentration*

$$\mu_{CONV(A)}(u) = (\mu_A(u))^2, u \in U \quad (2.36)$$

### *Dilation*

$$\mu_{DIL(A)}(u) = (\mu_A(u))^{0.5}, u \in U \quad (2.37)$$

### *Algebraic product*

$$\mu_{(A \bullet B)}(u) = \mu_A(u) \bullet \mu_B(u), u \in U \quad (2.38)$$

### *Bounded sum*

$$\mu_{(A \oplus B)}(u) = \min \{ 1, \mu_A(u) + \mu_B(u) \}, u \in U \quad (2.39)$$

### *Bounded product*

$$\mu_{(A \otimes B)}(u) = \max\{0, \mu_A(u) + \mu_B(u) - 1\}, \quad u \in U \quad (2.40)$$

*Intensification*

$$\mu_{INT(A)}(u) = \begin{cases} 2(\mu_A(u)) & 0 \leq \mu_A(u) < 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(u))^2 & 0.5 \leq \mu_A(u) \leq 1 \end{cases} \quad (2.41)$$

*Drastic product*

$$\mu_A(u) \otimes \mu_B(u) = \begin{cases} \mu_A(u) & \mu_B(u) = 1 \\ \mu_B(u) & \mu_A(u) = 1 \\ 0 & \mu_A(u), \mu_B(u) < 1 \end{cases} \quad (2.42)$$

### 2.5.2 Variabel Linguistik (*Linguistic Variable*)

Suatu himpunan *fuzzy* bisa didefinisikan berdasarkan variabel linguistik tertentu. Variabel linguistik didefinisikan sebagai:

$$(u, T(u), U, R, S) \quad (2.43)$$

dengan  $u$  adalah nama variabel linguistik;  $T(u)$  adalah himpunan *term* (*linguistic value / linguistic label*) pada  $u$  dan masing-masing *term* didefinisikan dengan fungsi keanggotaan yang normal (mempunyai harga maksimum sama dengan 1) dan *convex* pada  $U$ ;  $R$  adalah aturan sintatik untuk menghasilkan nama nilai-nilai pada  $u$ ; dan  $S$  adalah aturan semantik untuk menghubungkan tiap nilai dengan artinya.

### 2.5.3 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-

masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula. Proses ini disebut fuzzifikasi.

Dengan kata lain fuzzifikasi merupakan pemetaan titik-titik numerik (*crisp points*)  $\underline{x} = (x^1, \dots, x^n)^T \in U$  ke himpunan *fuzzy*  $A$  di  $U$ .  $U$  adalah semesta pembicaraan. Paling tidak ada dua kemungkinan pemetaan, yaitu:

- Fuzzifikasi *singleton*:  $A$  adalah *fuzzy singleton* dengan *support*  $\underline{x}$ , artinya,  $\mu_A(\underline{x}') = 1$  untuk  $\underline{x}' = \underline{x}$  dan  $\mu_A(\underline{x}') = 0$  untuk  $\underline{x}' \in U$  yang lain dengan  $\underline{x}' \neq \underline{x}$ .
- Fuzzifikasi *nonsingleton*:  $\mu_A(\underline{x}) = 1$  dan  $\mu_A(\underline{x}')$  menurun dari 1 sebagaimana  $\underline{x}'$  bergerak menjauh dari  $\underline{x}$ . Sebagai contoh:

$$\mu_A(\underline{x}') = \exp\left[-\frac{(\underline{x}' - \underline{x})^T (\underline{x}' - \underline{x})}{\sigma^2}\right] \quad (2.44)$$

dimana  $\sigma^2$  adalah parameter yang menentukan bentuk dari  $\mu_A(\underline{x}')$ .

Sejauh ini yang banyak digunakan adalah fuzzifikasi *singleton*, tetapi pemakaian *nonsingleton* juga telah dirintis terutama untuk masukan-masukan yang banyak dimasuki oleh derau (*noise*).

#### 2.6.4 Penyusunan Aturan / Rule Pengendalian

Pada umumnya, aturan-aturan *fuzzy* dinyatakan dalam bentuk '*IF-THEN*' yang merupakan inti dari relasi *fuzzy*. Relasi *fuzzy* dinyatakan dengan  $R$ , juga

disebut implikasi *fuzzy*. Relasi *fuzzy* dalam pengetahuan dasar dapat didefinisikan sebagai himpunan pada implikasi *fuzzy*.

Aturan dasar *fuzzy* adalah dalam bentuk umum:

$$R^{(1)} : \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^1 \text{ AND } \dots \text{ AND } \dots x_n \text{ is } F_n^1, \text{ THEN } y \text{ is } G^1$$

Dimana  $F_i^1$  dan  $G^1$  adalah himpunan *fuzzy* masing-masing di  $U_i \subset R$  dan  $V \subset R$ , dan  $\underline{x} = (x^1, \dots, x^n)^T \in U_1 \times \dots \times U_n$  dan  $y \in V$  adalah variabel linguistik.

Untuk mendapatkan aturan *IF-THEN* di atas ada dua cara utama, yaitu: (1) menanyakan ke operator manusia yang dengan cara manual telah mampu mengendalikan sistem tersebut, dikenal dengan istilah “*human expert*”; dan (2) dengan menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data-data masukan dan keluaran. Cara pertama tersebut merupakan cara langsung untuk mendapatkan aturan, tetapi operator tersebut mungkin akan sulit dapat mengatakan seluruh aturan-aturan tersebut, karena seringkali terjadi bahwa operator tersebut mengendalikan sistem atas dasar perasaan semata dan refleks yang sulit dijelaskan. Karena keterbatasan-keterbatasan tersebut maka banyak rekayasawan menawarkan ide untuk menggunakan data keluaran dan masukan sebagai dasar penyusunan aturan secara otomatis.

### 2.6.5 Defuzzifikasi

Dalam sistem kendali secara umum, terdapat suatu hubungan sebab-akibat yang spesifik antara masukan dan keluaran sistem tersebut. Karakteristik hubungan inilah yang membedakan satu sistem dengan sistem yang lain.

Pengendali yang menggunakan logika *fuzzy* juga membutuhkan spesifikasi hubungan antara masukan dan keluaran, yang secara umum dinyatakan dengan:

*IF (A<sub>1</sub>) THEN (B<sub>1</sub>)*

...

*IF (A<sub>n</sub>) THEN (B<sub>n</sub>)*

$A_1, \dots, A_n$  adalah *antecedent*, yaitu masukan yang telah difuzzifikasi, sedangkan  $B_1, \dots, B_n$  adalah *consequent*, yaitu aksi pengendalian (keluaran). Hubungan antara *antecedent* dan *consequent* disebut aturan (*rule*), dan antara satu *rule* dengan yang lain tidak terdapat hubungan sebab – akibat.

Proses untuk mendapatkan aksi keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti rule-rule yang telah ditetapkan disebut *inference* atau *reasoning* (pengambilan keputusan).

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran ini masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik non-*fuzzy* melalui proses defuzzifikasi. Dua metode defuzzifikasi yang umum digunakan adalah:

*Maximum of Mean (MOM)*

Metode ini didefinisikan sebagai:

$$v_o = \sum_{j=1}^J \frac{v_j}{J}$$

$$v_j = \max_{v \in V} \mu_V(v) \quad (2.45)$$

$v_o$  = nilai keluaran

$J$  = jumlah harga maksimum

- $v_j$  = nilai keluaran maksimum ke-j
- $\mu_V(V)$  = derajat keanggotaan elemen-elemen pada *fuzzy set v*
- $V$  = semesta pembicaraan

*Centre of Area (COA)*

Metode ini didefinisikan sebagai:

$$v_o = \frac{\sum_{k=1}^m V_k \mu_V(V_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_V(V_k)} \quad (2.46)$$

- $v_o$  = nilai keluaran
- $m$  = tingkat kuantisasi
- $V_k$  = elemen ke-k
- $\mu_V(V_k)$  = derajat keanggotaan elemen-elemen pada *fuzzy set v*
- $V$  = semesta pembicaraan

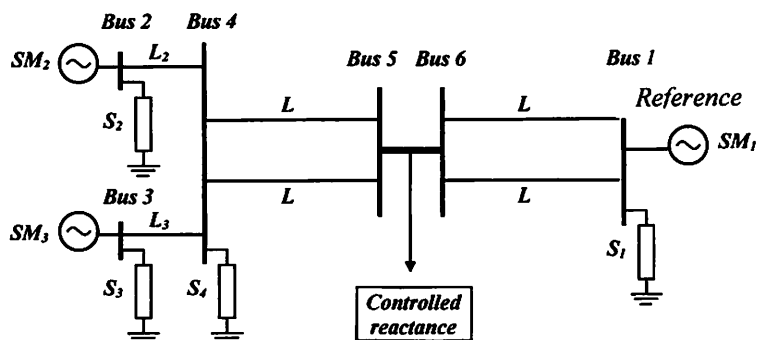
## BAB III

### ANALISA PROGRAM

Pada bab ini pembahasan akan diprioritaskan pada analisa program simulasi. Perhitungan numerik dan hasil simulasi berdasarkan pemodelan sistem tenaga antara lain generator, *exciter*, transmisi, dan beban. Dari pemodelan yang diperoleh kemudian digunakan untuk mendapatkan respon osilasi sistem apabila sistem tenaga mendapat gangguan kecil atau besar, baik yang terkendali atau tanpa kendali dari *fuzzy logic controller (FLC)*.

#### 3.1 Model Sistem Tenaga

Model sistem tenaga yang digunakan dalam simulasi ini adalah *multi-machine* dengan dua *sub-system* yang terhubung melalui *intertie* seperti gambar 3.1. Untuk meningkatkan stabilitas, saluran transmisi (*intertie*) dibagi dua bagian dan *controlled reactance* diletakkan diantara kedua saluran tersebut atau dipertengahan *intertie*. Bila terjadi gangguan berskala kecil atau besar maka akan menyebabkan kedua *sub-system* mengalami ayunan daya (*power swing*) satu terhadap yang lain sehingga mengakibatkan ketidakstabilan pada *system*. Oleh sebab itu ayunan daya (*power swing*) yang terjadi pada *system* harus distabilkan dengan mengatur besarnya reaktansi pada jaringan.



Gambar 3.1 Model sistem tenaga

Pada kondisi normal besarnya reaktansi total dari *inter-tie* adalah  $jX_L$  , dengan adanya *controller reactance* maka besarnya reaktansi total *inter-tie* dapat bervariasi, tergantung tipe gangguan yang terjadi pada sistem, mulai dari  $\left( jX_L - \frac{X_L}{2} \right)$  sampai  $\left( jX_L + \frac{X_L}{2} \right)$ .

Berikut ini adalah data selengkapnya:

Tabel 3.1. Data generator:

Generator	SM1	SM2	SM3
Daya $S_n$ (MVA)	5500	1800	1800
H (s)	4	4	4
$X_d$ (pu)	2,00	1,00	1,00
$X'_d$ (pu)	0,25	0,30	0,30
$X_q$ (pu)	1,90	0,60	0,60
$T'_{do}$ (pu)	6,0	5,0	5,0
D (pu/pu)	6	6	6
$X$ transformer	0,10	0,10	0,10
Tegangan terminal	1,00	1,00	1,00
Exciter:			
Ke	30	10	10
Te (s)	0,05	0,05	0,05

**Table 3.2** Data Transmisi

Saluran	Panjang (km)	Reaktansi ( $\Omega/\text{km}$ )	Reaktansi ( $\Omega$ )
L	350	0,20	70
$L_2$	50	0,34	17
$L_3$	100	0,34	34
B	-	5E-6	-

**Tabel 3.3** Data Beban

Beban	P (pu)	Q (pu)
$S_1$	6	1.2
$S_2$	0,1	0,01
$S_3$	0,1	0,01
$S_4$	1	0,2

Untuk mengetahui aliran daya pada model sistem tenaga pada gambar 3.1 maka digunakan persamaan aliran daya (*load flow*) dengan metoda *Gauss Siedel* dan penyelesaiannya sesuai tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4** Data bus dan aliran daya dalam satuan per unit\*

Bus	Tegangan (pu)	Pembangkit (pu)		Beban (pu)		Tipe bus
		P	Q	P	Q	
1	$1\angle 0^\circ$	4	1,186	6	1,2	Slack
2	$1,125\angle 36,0^\circ$	1,62	0,698	0,1	0,01	PV
3	$1,116\angle 40,7^\circ$	1,62	0,602	0,1	0,01	PV
4	$1,08\angle 31,2^\circ$	0	0	1,0	0,2	PQ

\* *intertie loading 2000MW*

Dengan data pada tabel 3.5 maka arus pada tiap-tiap generator dihitung secara sederhana

$$I_1 = \frac{P_1 - jQ_1}{V_1^*} = \frac{4 - j1,186}{1 - j0} = 4,172\angle -16,52^\circ \text{ pu} \quad (3.1)$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan arus pada generator yang lain:

$$I_2 = \frac{1,62 - j0,698}{1,125 \angle -36^\circ} = 1,568 \angle 12,75^\circ \text{ pu} \quad (3.2)$$

$$I_3 = \frac{1,62 - j0,602}{1,158 \angle -40,7^\circ} = 1,492 \angle 20,27^\circ \text{ pu} \quad (3.3)$$

Sebelum menentukan persamaan *swing* terlebih dahulu kita hitung besarnya tegangan transien generator sebagai berikut:

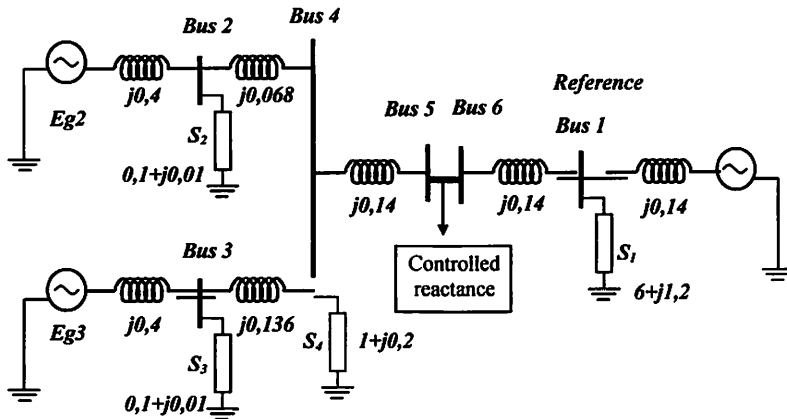
$$\begin{aligned} E_{g1} &= 1 \angle 0 + 4,172 \angle -16,52^\circ \cdot j0,35 \\ E_{g1} &= 1,99 \angle 44,7^\circ \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} E_{g2} &= 1,125 \angle 36,0^\circ + 1,53 \angle 12,72^\circ \cdot j0,4 \\ E_{g2} &= 1,489 \angle 58,8^\circ \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} E_{g3} &= 1,158 \angle 40,7^\circ + j0,35 \times 1,492 \angle 20,27^\circ \\ E_{g3} &= 1,476 \angle 62,95^\circ \end{aligned} \quad (3.6)$$

### 3.1.1 Rangkaian ekuivalen

Model sistem tenaga pada gambar 3.1 mempunyai *base* daya 1000 MVA dan *base* tegangan 500 kV. Untuk mempermudah analisa pada sistem tenaga maka perlu dibuat rangkaian ekuivalen dengan satuan besaran dalam pu seperti gambar 3.2. Dimana pada kondisi awal, yaitu pada operasi normal, sebelum terjadi gangguan (*prefaulted*), reaktansi saluran total *tieline* yaitu antara bus 4 dan bus 1 adalah  $jX_L = j0,28 \Omega$ . Sehingga *bus* 5 dan *bus* 6 dapat dieliminasi. Kemudian dibuat matrik admitansi jaringan, yang hasilnya dengan metoda *node elimination* akan dihasilkan admitansi saluran tereduksi.



**Gambar 3.2** Rangkaian ekivalen sistem

Dari gambar model sistem tenaga diatas dapat disusun matrik admitansi jaringan yang kemudian semua bus dieliminasi kecuali *node* generator dan impedansi jaringan, kemudian matrik admitansi direduksi, dan hasilnya seperti tabel 3.5 berikut ini:

**Tabel 3.5** admitansi jaringan tereduksi operasi normal (*prefaulted*)

Bus	1	2	3
1	$0,67812-j\ 2,20078$	$0,25943+j0,18965$	$0,22702+ j0,16471$
2	$0,25943+j0,18965$	$0,188117-j1,50929$	$0,15846+ j0,54725$
3	$0,22702+ j0,16471$	$0,15846+ j0,54725$	$0,14556 -j1,38914$

### 3.1.2 Tipe gangguan

Gangguan diberikan untuk mengetahui respon stabilitas pada sistem, baik stabilitas *interarea* maupun stabilitas *local*. Berikut ini tipe gangguan yang terjadi:

#### a. Gangguan kecil

Terjadi gangguan pada hubung singkat 3 phasa pada bus 6, dan gangguan tersebut hilang dalam waktu 80 mili detik.

Jika Gangguan terjadi pada bus 6 (gambar 3.1) maka bus 6 harus dihubungkan pada referensi tegangan (*ground*). Dengan demikian terjadi perubahan impedansi jaringan sistem tenaga (gambar 3.2). Oleh karena itu matrik admitansi (tabel 3.5) juga berubah seperti tabel 3.6 berikut:

**Tabel 3.6** admitansi jaringan tereduksi saat gangguan (*being faulted*)

Bus	1	2	3
1	$0,93365-j2,22582$	$0,0+j 0,0$	$0,0+ j0,0$
2	$0,0+j0,0$	$0,26526-j1,11597$	$0,23308+ j0,89028$
3	$0,0+ j0,0$	$0,23308+ j0,89028$	$0,21177-j1,08997$

Karena gangguan yang terjadi adalah gangguan sementara, maka sistem akan normal kembali setelah gangguan hilang dalam waktu 80 mili detik, kondisi jaringan sistem akan kembali seperti semula, sama sebelum terjadi gangguan. Impedansi jaringan dan matrik admitansi juga sama seperti tabel 3.5.

b. Perubahan Beban mendadak (*small disturbance*)

Beban pada *inter-tie* turun hingga menjadi 1500MW.

Beban pada bus 4 sebesar  $1,5 +j 0,3$  putus selama 100 mili detik.

Sedangkan data aliran daya pada kondisi tersebut seperti tabel 3.7.

**Tabel 3.7** Data bus dan aliran daya dalam satuan per unit\*

Bus	Tegangan (pu)	Pembangkit (pu)		Beban (pu)		Tipe bus
		P	Q	P	Q	
1	$1\angle 0^\circ$	4,5	0,741	6	1,2	Slack
2	$1,172\angle 26,3^\circ$	1,62	0,692	0,1	0,01	PV
3	$1,205\angle 30,5^\circ$	1,62	0,587	0,1	0,01	PV
4	$1,131\angle 21,8^\circ$	0	0	1,5	0,3	PQ

\* *intertie loading 1500MW*

Perubahan beban juga akan mempengaruhi stabilitas sistem, seperti halnya pada gangguan sementara. Matrik admitansi sebelum gangguan pada tabel 3.8 juga akan berubah karena putusnya beban pada bus 4, seperti tabel 3.9.

**Tabel 3.8** admitansi jaringan tereduksi beban normal (*pre/post faulted*)

Bus	1	2	3
1	$0,67347-j 2,20841$	$0,26147+j 0,17167$	$0,22873+ j0,14905$
2	$0,26147+j 0,17167$	$0,20668-j1,53550$	$0,15734+ j0,61352$
3	$0,22873+ j0,14905$	$0,15734+ j0,61352$	$0,16457 -j1,40916$

**Tabel 3.9** admitansi jaringan tereduksi saat beban putus (*being faulted*)

Bus	1	2	3
1	$0,68618-j 2,17999$	$0,24652+j 0,23291$	$0,21594+ j0,20244$
2	$0,24652+j 0,23291$	$0,10696-j1,45615$	$0,09388+ j0,59384$
3	$0,21594+ j0,20244$	$0,09388+ j0,59384$	$0,08995 -j1,34840$

Identik dengan kasus pertama, setelah 100 mili detik beban terpasang kembali. Artinya terjadi perubahan beban yang cukup besar dalam waktu yang relatif singkat. Sehingga matrik admitansi akan kembali seperti semula (tabel 3.8).

c. Gangguan besar

Gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah terjadi pada saluran antara bus 4 dan bus 5 di dekat bus 5 (gambar 3.1). Gangguan tersebut termasuk tipe *large disturbance* sehingga gangguan harus dihilangkan dengan memutuskan CB (*circuit breaker*) pada kedua ujung saluran yang terganggu dalam waktu 100 mili detik.

Impedansi jaringan dan matrik admitansi jaringan sebelum dan saat terjadi gangguan adalah berturut-turut seperti pada tabel 3.5 dan 3.6. Sedikit berbeda

dengan kasus-kasus gangguan sebelumnya, pada kasus *large disturbance* ini terjadi perubahan jaringan walaupun gangguan telah dihilangkan. Hal ini karena diputusnya saluran. Dengan demikian admitansi jaringan tidak sama dengan saat sebelum gangguan, demikian juga dengan matrik admitansi setelah gangguan, akan berubah dan hasil reduksi admitansi seperti tabel 3.10 di bawah ini.

**Tabel 3.10** admitansi jaringan tereduksi setelah gangguan (*post faulted*)

<i>Bus</i>	1	2	3
1	0,72616-j 2,19433	0,21995+j 0,14358	0,19242+ j0,12462
2	0,21995+j0,14358	0,17962-j1,43337	0,15734+ j0,61352
3	0,19242+ j0,12462	0,15734+ j0,61352	0,14480 -j1,33129

### 3.1.3 Persamaan Sudut Daya

Dari perhitungan tegangan internal generator, dan reduksi matrik jaringan diatas maka persamaan sudut daya pada setiap kasus dari tipe gangguan yang terjadi pada sistem dapat dibentuk sebagai berikut:

$$P_{ei} = E_i E_i G_{ii} + \sum_{j=1}^n E_i E_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (3.7)$$

(i) Kasus gangguan kecil

Persamaan sudut daya sebelum gangguan

$$P_{e1} = 1,34958 + 0,95233 \cdot \cos(-50,2^\circ) + 0,82395 \cos(-54,25^\circ)$$

$$P_{e2} = 0,40176 + 0,95233 \cdot \cos(-50,2^\circ) + 0,34834 \cos(-78^\circ)$$

$$P_{e3} = 0,31720 + 0,82395 \cdot \cos(-54,25^\circ) + 0,34834 \cos(-78^\circ) \quad (3.8)$$

Persamaan sudut daya selama gangguan

$$\begin{aligned}P_{e1} &= 0 \\P_{e2} &= 0,5926 + 1,05386 \cos(\delta_2 - \delta_3 - 75,9^\circ) \\P_{e3} &= 0,45828 + 1,05386 \cos(\delta_3 - \delta_2 - 75,9^\circ)\end{aligned}\quad (3.9)$$

Persamaan sudut daya setelah gangguan

$$\begin{aligned}P_{e1} &= 1,34958 + 0,95233 \cdot \cos(\delta_{12} - 36,16^\circ) + 0,82395 \cos(\delta_{31} - 36^\circ) \\P_{e2} &= 0,40176 + 0,95233 \cdot \cos(\delta_{21} - 36,16^\circ) + 0,34834 \cos(\delta_{32} - 73,85^\circ) \\P_{e3} &= 0,31720 + 0,82395 \cdot \cos(\delta_{31} - 36^\circ) + 0,34834 \cos(\delta_{32} - 0,73,85^\circ)\end{aligned}\quad (3.10)$$

(ii) Kasus gangguan kecil (beban terputus)

Persamaan sudut daya sebelum gangguan

$$\begin{aligned}P_{e1} &= 2,7398 + 0,95427 \cos(\delta_{21} - 33,29^\circ) + 0,82571 \cos(\delta_{31} - 33^\circ) \\P_{e2} &= 0,47296 + 0,95427 \cos(\delta_{21} - 33,29^\circ) + 0,40981 \cdot \cos(\delta_{23} - 71^\circ) \\P_{e3} &= 0,37016 + 0,82571 \cdot \cos(\delta_{31} - 33,1^\circ) + 0,40981 \cdot \cos(\delta_{32} - 71^\circ)\end{aligned}\quad (3.11)$$

Persamaan sudut daya selama gangguan

$$\begin{aligned}P_{e1} &= 1,34958 \\P_{e2} &= 0,5019 + 1,073945 \cdot \cos(\delta_{23} - 66,16^\circ) \\P_{e3} &= 0,39091 + 1,073945 \cdot \cos(\delta_{32} - 66,16^\circ)\end{aligned}\quad (3.12)$$

Persamaan sudut daya setelah gangguan

$$\begin{aligned}P_{e1} &= 2,7398 + 0,95427 \cos(\delta_{12} - 33,29^\circ) + 0,82571 \cos(\delta_{13} - 33^\circ) \\P_{e2} &= 0,47296 + 0,95427 \cos(\delta_{21} - 33,29^\circ) + 0,40981 \cdot \cos(\delta_{23} - 71^\circ) \\P_{e3} &= 0,37016 + 0,82571 \cdot \cos(\delta_{31} - 33,1^\circ) + 0,40981 \cdot \cos(\delta_{32} - 71^\circ) \quad (3.13)\end{aligned}$$

(ii) Kasus gangguan besar

Persamaan sudut daya sebelum gangguan

$$\begin{aligned}P_{e1} &= 1,34958 + 0,95233 \cdot \cos(-50,2^\circ) + 0,82395 \cos(-54,25^\circ) \\P_{e2} &= 0,40176 + 0,95233 \cdot \cos(-50,2^\circ) + 0,34834 \cos(-78^\circ) \\P_{e3} &= 0,31720 + 0,82395 \cdot \cos(-54,25^\circ) + 0,34834 \cos(-78^\circ) \quad (3.14)\end{aligned}$$

Persamaan sudut daya selama gangguan

$$\begin{aligned}P_{e1} &= 0 \\P_{e2} &= 0,5926 + 1,05386 \cos(\delta_{23} - 75,9^\circ) \\P_{e3} &= 0,45828 + 1,05386 \cos(\delta_{32} - 75,9^\circ) \quad (3.15)\end{aligned}$$

Persamaan sudut daya setelah gangguan

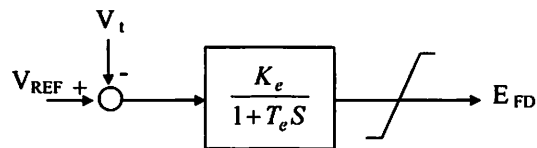
$$\begin{aligned}P_{e1} &= 2,87705 + 0,77856 \cdot \cos(\delta_{12} - 33,1^\circ) + 0,67362 \cos(\delta_{13} - 32,9^\circ) \\P_{e2} &= 0,39832 + 0,77856 \cdot \cos(\delta_2 - 33,13^\circ) + 1,39236 \cdot \cos(\delta_{23} - 75,6^\circ) \\P_{e3} &= 0,31554 + 0,67362 \cdot \cos(\delta_{31} - 33,13^\circ) + 1,39236 \cdot \cos(\delta_{23} - 75,6^\circ) \quad (3.16)\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan daya reaktif maka dapat diketahui daya reaktif yang mengalir.

### 3.2 Model Eksitasi

Pada perancangan simulasi, model eksitasi yang digunakan pada setiap generator adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5.

Dengan harga konstanta-konstanta yang ada adalah :



Gambar 3.3 Diagram blok *exciter*

$$K_e = 10,0$$

$$T_e = 0,05 \text{ (s)}$$

Dengan analisis *state-space* diperoleh

$$E_{FD} = \frac{(V_{REF} - V_t)K_e}{1 + pT_e}$$

$$pE_{FD} = -\frac{1}{T_e} E_{FD} + \frac{K_e}{T_e} (V_{REF} - V_t) \quad (3.17)$$

Pada kasus gangguan kecil (*small disturbance*)

Dari persamaan (3.1),(3.2), dan (3.3) didapatkan  $I_1 = 4,172 \angle -16,52^\circ$  pu  
 $I_2 = 1,568 \angle 12,75^\circ$  pu dan  $I_3 = 1,492 \angle 20,27^\circ$  pu serta dari persamaan (3.4), (3.5),  
 dan (3.6) besarnya  $\delta_{01} = 44,7^\circ$ ;  $\delta_{02} = 58,8^\circ$ ; dan  $\delta_{03} = 62,95^\circ$  maka dapat diperoleh  
 arus, tegangan medan  $E_{fd}$  pada tiap generator sebagai berikut:

$$i_{d0} = -I_a \cdot \sin(\delta_0 - \varphi_0)$$

$$i_{q0} = I_a \cdot \cos(\delta_0 - \varphi_0) \quad (3.18)$$

$$E_{fd0} = E_{q0} - (x_d - x_q) \cdot i_{d0} \quad (3.19)$$

$$i_{d01} = -4,172 \cdot \sin(16,52) = -1,186 \text{ pu} \quad (3.20)$$

$$i_{q01} = -4,172 \cdot \cos(16,52) = 3,9998 \text{ pu} \quad (3.21)$$

$$E_{fd01} = 1,990 + (2,0 - 1,9) \cdot 1,186 = 2,101 \text{ pu} \quad (3.22)$$

$$i_{d02} = -1,568 \cdot \sin(12,75 + 58,8 - 44,7) = -0,708 \text{ pu} \quad (3.20)$$

$$i_{q02} = 1,568 \cdot \cos(12,75 + 58,8 - 44,7) = 1,399 \text{ pu} \quad (3.21)$$

$$E_{fd02} = 1,489 + (1,0 - 0,6) \cdot 0,708 = 1,772 \text{ pu} \quad (3.22)$$

$$i_{d03} = -1,492 \cdot \sin(20,27 + 62,92 - 44,7) = -0,929 \text{ pu} \quad (3.26)$$

$$i_{q03} = 1,492 \cdot \cos(20,27 + 62,92 - 44,7) = 1,168 \text{ pu} \quad (3.27)$$

$$E_{fd03} = 1,476 + (1,0 - 0,6) \cdot 0,405 = 1,874 \text{ pu} \quad (3.28)$$

Dengan cara yang sama, maka pada kasus yang lain dapat diperoleh besarnya tegangan medan setiap generator

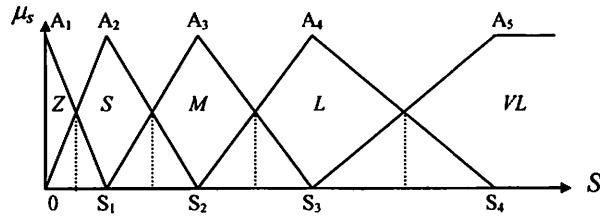
### 3.3 Perencanaan Sistem Kendali *Fuzzy*

#### 3.3.1 Himpunan *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*) berdasarkan gangguan terdiri dari 5 lima himpunan *fuzzy* dengan variabel *linguistik* yang melekat pada masing-masing himpunan yaitu:

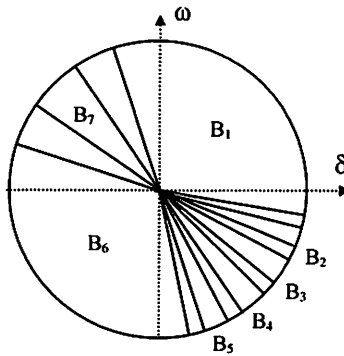
$A_1$ : *zero* ( $Z$ );  $A_2$ : *small* ( $S$ );  $A_3$ : *medium* ( $M$ );  $A_4$ : *large* ( $L$ ) dan

$A_5$ : *very large* ( $VL$ ) seperti gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Fungsi keanggotaan  $S$

Dengan jalan yang sama *phase plane* dibagi menjadi tujuh sektor masing-masing  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6,$  dan  $B_7$ . Sedangkan derajat keanggotaan pada setiap sudut ( $\theta$ ).



**Gambar 3.5** Fungsi keanggotaan  $\theta$

Kedua *fuzzy partition*,  $S$  dan  $\theta$ , di atas merupakan fungsi dari sudut daya ( $\delta$ ) dan kecepatan angular ( $\omega$ ) yaitu:

$$S(\delta, \omega) = (\delta^2 + \omega^2)^{1/2} \quad (3.29)$$

$$\theta(\delta, \omega) = \arctan\left(\frac{\omega}{\delta}\right) + k\pi, \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi \quad (3.30)$$

Dari gambar kedua *fuzzy partition* di atas maka dapat di buat persamaan derajat keanggotaannya sebagai berikut:

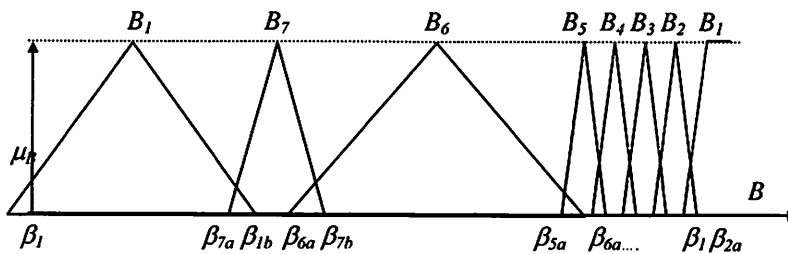
$$\mu_S = \left\{ \begin{array}{l} \frac{-S + s1}{s1} \dots\dots\dots \\ S/s1 \end{array} \right\}; \quad 0 \geq S \geq s1$$

$$\mu_S = \left\{ \begin{array}{l} \frac{-S + s1}{s2 - s1} \dots\dots\dots \\ \frac{S - s1}{s2 - s1} \end{array} \right\}; s1 \geq S \geq s2$$

$$\mu_S = \left\{ \begin{array}{l} \frac{-S + s3}{s3 - s2} \dots\dots\dots \\ \frac{S - s2}{s3 - s2} \end{array} \right\}; s2 \geq S \geq s3$$

$$\mu_S = \left\{ \begin{array}{l} \frac{-S + s4}{s4 - s3} \dots\dots\dots \\ \frac{S - s3}{s4 - s3} \end{array} \right\}; s3 \geq S \geq s4$$

$$\mu_S = 1 ; S \geq s4 \quad (3.31)$$



**Gambar 3.6** Fungsi keanggotaan  $\theta$

Dengan cara yang sama dengan diatas dapat ditentukan persamaan derajat fungsi keanggotaannya.

### 3.3.2 Variabel Input

Jika  $\delta_0$  dan  $\omega_0$  adalah sudut daya dan kecepatan angular awal sebelum terjadi gangguan, maka ketika terjadi gangguan maka nilainya akan berubah menjadi  $\delta_k$  dan  $\omega_k$ . Maka terdapat *error* yang besarnya adalah :

$$e_s(k) = \delta_0 - \delta_k(k) \quad (3.32)$$

$$e_{\omega}(k) = \omega_0 - \omega_k(k) \quad (3.33)$$

Secara umum sangat memungkinkan untuk mengatur sebuah sistem tenaga pada nilai operasi yang baru (*operating point*) yang berbeda dari nilai operasi awal. Dengan persamaan (3.34) dan (3.35), maka besarnya *error*  $e_{\delta}$  dan  $e_{\omega}$  pada persamaan (3.36) (3.37) dapat diketahui yang berbentuk koordinat polar, yaitu  $(S(k), \theta(k))$ . Dengan demikian besarnya *error* tersebut akan menjadi *input* pada kendali *fuzzy*.

### 3.3.3 Penyusunan Aturan Dasar

Aturan kendali ditentukan berdasarkan pengamatan dari perilaku dinamis sistem serta mode *switching*. Aturan dasar (rule base) terdiri dari 35 keadaan seperti tabel 3.11 di bawah ini.

**Tabel 3.11** Aturan dasar

$\theta \backslash S$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$B_1$	$C_0$	$C_2$	$C_2$	$C_2$	$C_2$
$B_2$	$C_0$	$C_2$	$C_2$	$C_2$	$C_1$
$B_3$	$C_0$	$C_2$	$C_2$	$C_1$	$C_1$
$B_4$	$C_0$	$C_2$	$C_1$	$C_1$	$C_1$
$B_5$	$C_0$	$C_1$	$C_1$	$C_1$	$C_1$
$B_6$	$C_0$	$C_1$	$C_1$	$C_2$	$C_2$
$B_7$	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_2$	$C_2$

Keterangan :

$A_p$  adalah *fuzzy set* untuk  $S(\delta, \omega)$

$B_q$  adalah *fuzzy set* untuk  $\theta(\delta, \omega)$

$C_0, C_1, C_2$  adalah status *switching* berturut-turut untuk *bypass*, reaktor, dan kapasitor.

Untuk menentukan derajat keanggotaan *output*, aturannya adalah:

$X_i$  : Jika  $S(k)$  adalah  $A_p$  dan  $\theta(k)$  adalah  $B_q$  maka  $u(k)$  adalah  $C_n$ .

Dimana :  $A_p, B_q$ , dan  $C_n$  berhubungan dengan himpunan *fuzzy* pada gambar 3.33 dan 3.34 serta aturan dasar pada tabel 3.11. Derajat keanggotaan dari  $X_i$  untuk dua *input*  $S(k)$  dan  $\theta(k)$  adalah:

$$\mu(X_i) = \min\{\mu_{AP}(S(k)), \mu_{BQ}(\theta(k))\} \quad (3.34)$$

Sedangkan derajat keanggotaan untuk *output*  $C_n$  ( $n=1,2,3$ ) adalah :

$$\mu(C_0) = \sum \frac{\mu(X_i)}{m_0}, \text{ untuk } i = 1,6,11,\dots \quad (3.35)$$

$$\mu(C_1) = \sum \frac{\mu(X_i)}{m_1}, \text{ untuk } i = 10,14,15,\dots \quad (3.36)$$

$$\mu(C_2) = \sum \frac{\mu(X_i)}{m_2}, \text{ untuk } i = 2,3,4,\dots \quad (3.37)$$

Dengan  $m_0, m_1$ , dan  $m_2$  adalah jumlah aturan yang berhubungan dengan masing-masing kondisi *switching*. Dalam hal ini  $m_0+m_1+m_2= 35$ .

### 3.3.4 Defuzzifikasi

Keluaran akhir dari *controller* harus berbentuk nilai *discrete* yang menunjukkan kondisi *switching*. Nilai kontrol yang dihasilkan dari nilai keanggotaan  $\mu(C_n)$  pada persamaan (3.39) sampai (3.41), dan nilai  $\mu(C_n)$  dengan *membership function* terbesar yang dijadikan *crisp output*.

### 3.4 Simulasi Sistem

Dari model persamaan generator sinkron dapat diturunkan dalam persamaan orde dua sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{d\delta}{dt} &= \omega_B(\omega_m - \omega_{mo}) \\ \frac{d\omega_m}{dt} &= \frac{1}{2H}[-D\omega_B(\omega_m - \omega_{mo}) + P_m - P_e] \\ \frac{dE'_q}{dt} &= \frac{1}{T'_{do}}[-E'_q + (x_d - x'_d) \cdot i_d + E_{fd}]\end{aligned}\quad (3.38)$$

diikuti dengan persamaan *excitasi* sebagai berikut:

$$\frac{dE_{fd}}{dt} = -\frac{1}{T_e}E_{fd} + \frac{K_e}{T_e}(V_{ref} - V_t) \quad (3.39)$$

Persamaan diatas adalah persamaan *non-linier*, dan perlu penyelesaian secara *numeric*. Oleh karena itu diasumsikan sistem dalam keadaan stabil (*stable equilibrium point*), hingga terjadi gangguan (*disturbance*) pada  $t=0$ . Dengan metode *load flow* maka dapat diketahui harga awal. Selanjutnya dapat dihitung nilai-nilai yang lainnya.

#### Stabilitas *inter-area*

Dalam kasus yang terjadi pada sistem tenaga yang digunakan referensi yang digunakan adalah mesin 1, karena mempunyai kapasitas daya yang paling besar.

$$\begin{aligned}\Delta \dot{E}'_{qR} &= \frac{1}{T'_{do}}(-\Delta E'_q + (x_d - x'_d) \cdot i_d + E_{fd}) \\ \Delta \dot{\omega}_R &= \frac{1}{2H_R}(\Delta P_{mR} - \Delta P_{eR} - D\Delta\omega_R) \\ \Delta \dot{\delta}_R &= \Delta\omega_R\end{aligned}\quad (3.40)$$

yang mana:  $H_R = 4 \cdot \frac{5500}{1000} = 22$  dan

$$D = 6,$$

Simulasi stabilitas *inter-area* direpresentasikan oleh mesin 2 pada salah satu sub-sistem terhadap sistem yang lain yaitu sebagai referensi:

$$\begin{aligned}\Delta \dot{E}'_{q2} &= \frac{1}{T'_{do}} \left( -\Delta E'_{q2} + (x_{d2} - x'_{d2}) \cdot i_{d2} + E_{fd2} \right) \\ \Delta \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{2H_2} \left( \Delta P_{m2} - \Delta P_{e2} - D\Delta\omega_2 - \frac{H_2}{H_R} P_R \right) \\ \Delta \dot{\delta}_2 &= \Delta\omega_2 - \Delta\omega_R\end{aligned}\tag{3.41}$$

yang mana :  $H_2 = 4 \cdot \frac{1800}{1000} = 7,2$ ; dan  $D=6$

Dengan cara yang sama mesin 3 dapat pula dipresentasikan.

### 3.4.2 Stabilitas lokal

Dalam perancangan ini, yang merepresentasikan stabilitas lokal adalah antara mesin yang berada pada satu sub-sistem yaitu antara mesin\_3 dan mesin 2.

Dan persamaannya adalah:

$$\begin{aligned}\Delta \dot{\omega}_p &= \frac{1}{2H_p} (\Delta P_{mp} - \Delta P_{ep} - D\Delta\omega_p) \\ \Delta \dot{\delta}_p &= \Delta\omega_p\end{aligned}\tag{3.42}$$

dimana:

$$H_p = \frac{H_2 \cdot H_3}{H_2 + H_3} = \frac{51,84}{14,2} = 3,6\tag{3.43}$$

$$P_{mp} = \frac{H_2 \cdot P_{m3} - H_3 \cdot P_{m2}}{H_2 + H_3}\tag{3.44}$$

dengan memasukan nilai-nilai yang telah ditentukan pada perhitungan pada persamaan sebelumnya, maka dapat dilakukan simulasi.

### 3.4.3 Pengaturan Reaktansi Saluran

Dengan memanfaatkan sifat dasar dari reaktansi saluran, maka dengan sistem kendali *fuzzy* dapat dipilih saat yang tepat untuk mendapatkan perubahan reaktansi sesuai dengan perubahan daya yang terjadi guna mengembalikan titik operasi awal sistem, sekaligus juga meredam osilasi dan ketidakstabilan pada sistem tenaga. Berikut ini adalah admitansi jaringan tereduksi yang digunakan dalam simulasi ini.

**Tabel 3.12** admitansi jaringan tereduksi dengan kapasitor seri

<i>Bus</i>	1	2	3
1	$0,67125-j 2,20262$	$0,26024+j 0,18528$	$0,22782+ j0,16072$
2	$0,26024+j 0,18528$	$0,18854-j1,51547$	$0,16505+ j0,54169$
3	$0,22782+ j0,16072$	$0,16505+ j0,54169$	$0,15252 -j1,39426$

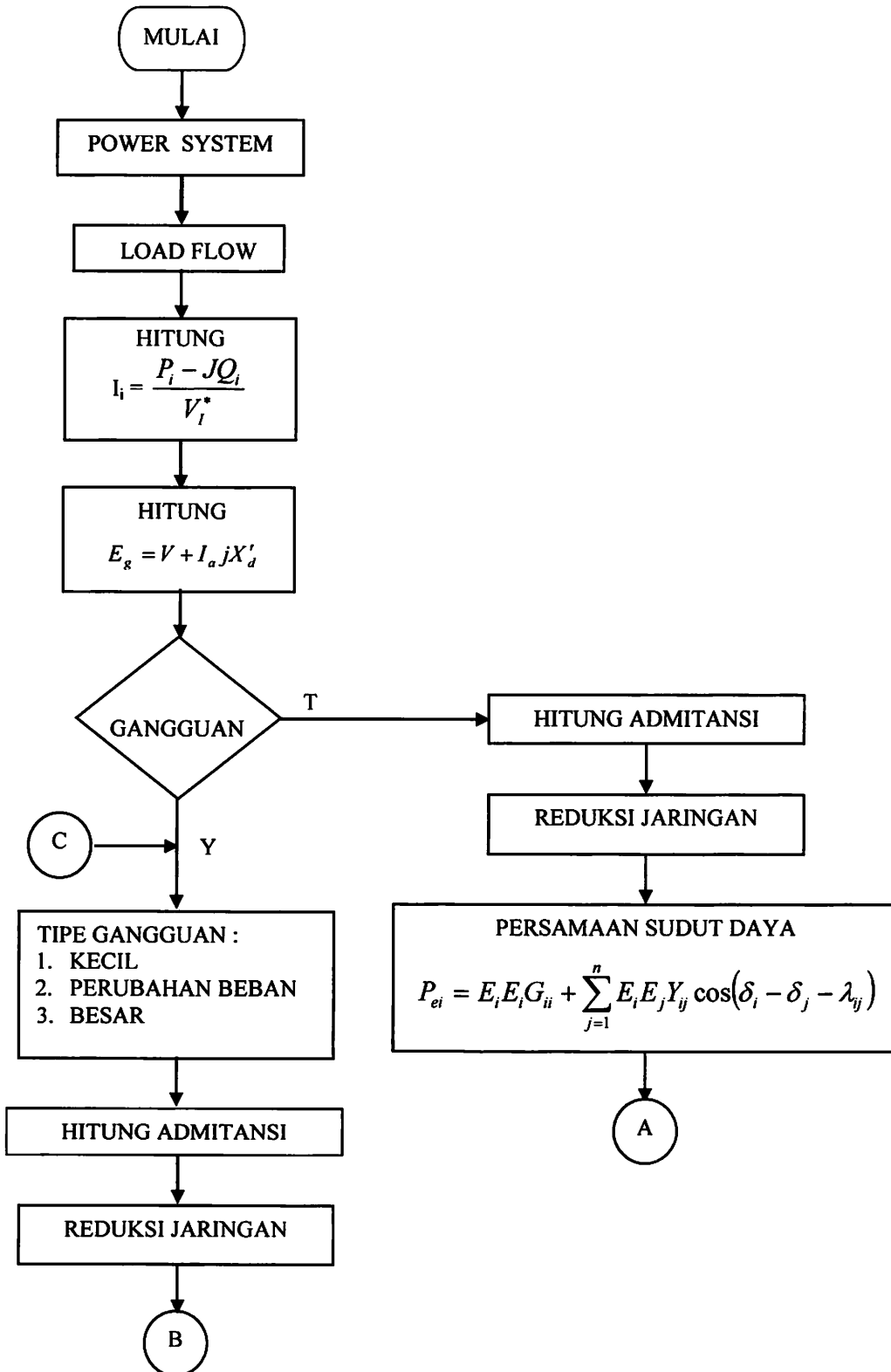
**Tabel 3.13** admitansi jaringan tereduksi dengan induktansi besar

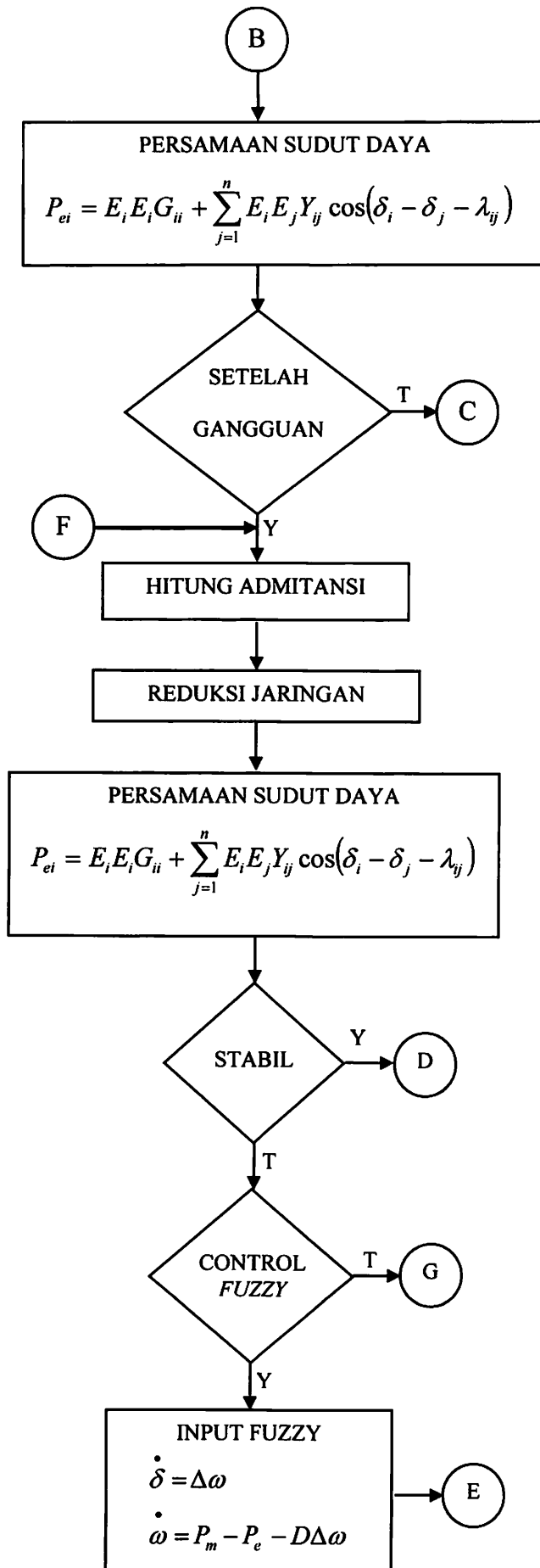
<i>Bus</i>	1	2	3
1	$0,75896-j 2,19364$	$0,19044+j 0,11075$	$0,16663+ j0,09594$
2	$0,19044+j 0,11075$	$0,19408-j1,38895$	$0,17036+ j0,65209$
3	$0,16663+ j0,09594$	$0,17036+ j0,65209$	$0,15757 -j1,29793$

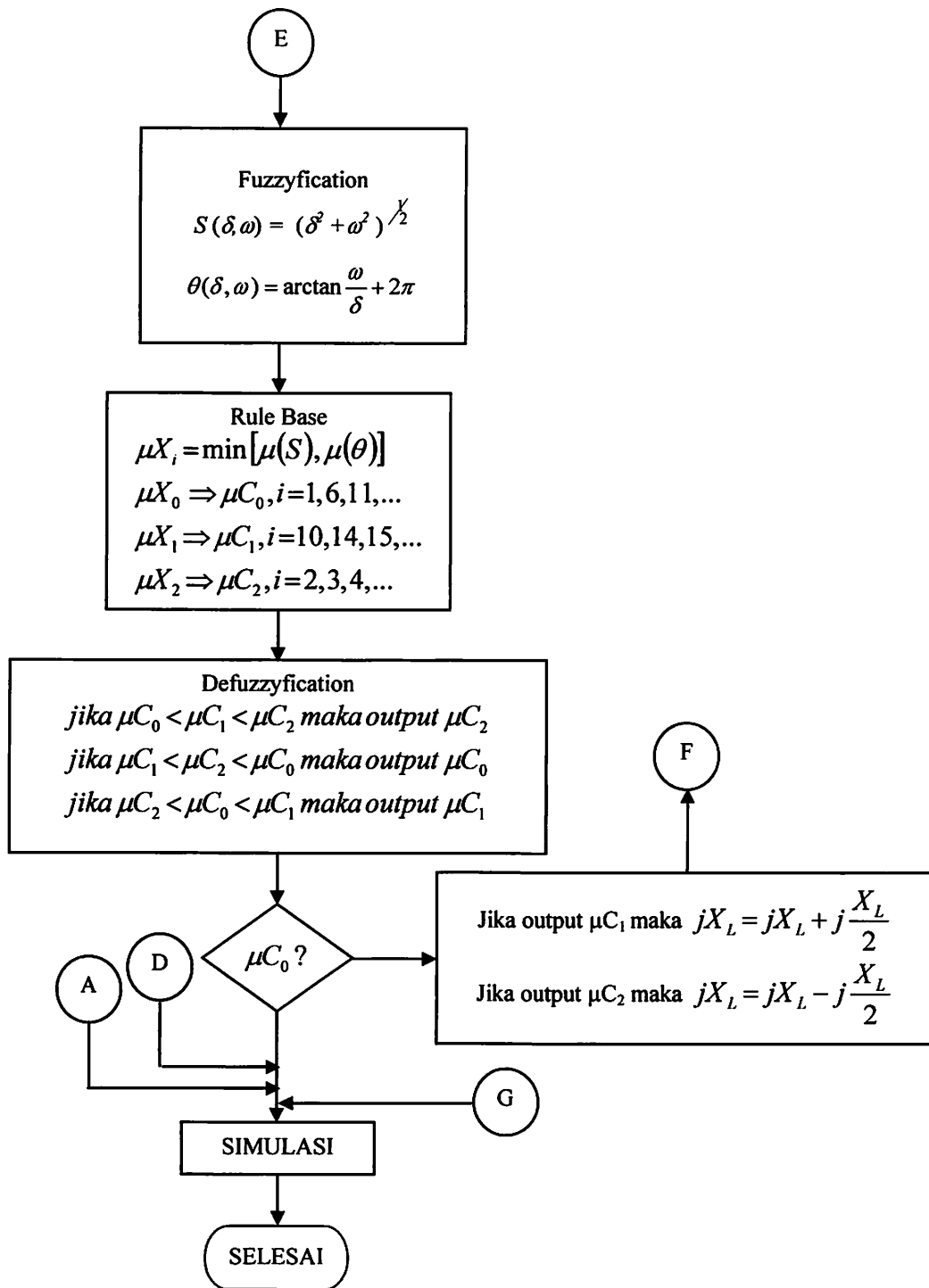
Matrik impedansi tersebut merupakan *crisp output* dari kendali *fuzzy* bila *fuzzy output* menyatakan  $\mu C_1$  paling dominan, artinya derajat keanggotaannya paling tinggi maka matrik impedansi dengan nilai induktansi yang besar akan menggantikan reaktansi jaringan pada sistem dan bila  $\mu C_2$  yang terbesar, maka matrik impedansi dengan kapasitor seri akan menggantikan reaktansi jaringan. Dan bila  $\mu C_0$  yang muncul, maka akan dilangsungkan (*by-pass*).

### 3.5. Flowchart Pengendalian Osilasi *Inter-Area* Sistem Tenaga Listrik

#### Menggunakan Logika *Fuzzy*







## **BAB IV**

### **ANALISA HASIL DAN SIMULASI**

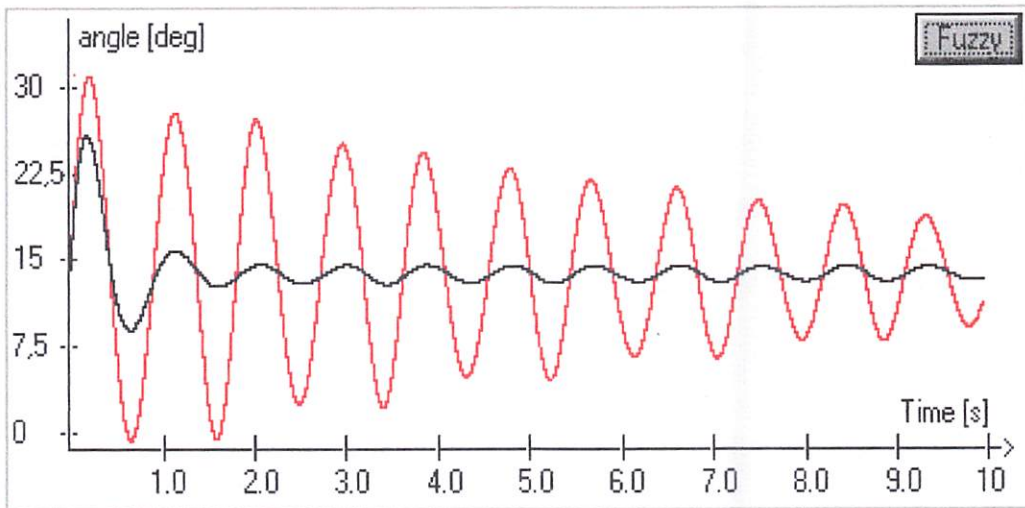
Simulasi yang dilakukan menggunakan sebuah model sistem tenaga sebagaimana perancangan pada bab tiga akan ditampilkan dan dibahas pada bab ini. Sehingga diketahui seberapa besar kemampuan dan seberapa efektif kompensasi seri dengan kendali *fuzzy* mampu meredam osilasi elektromekanis pada sistem.

#### **4.1 Studi Kasus**

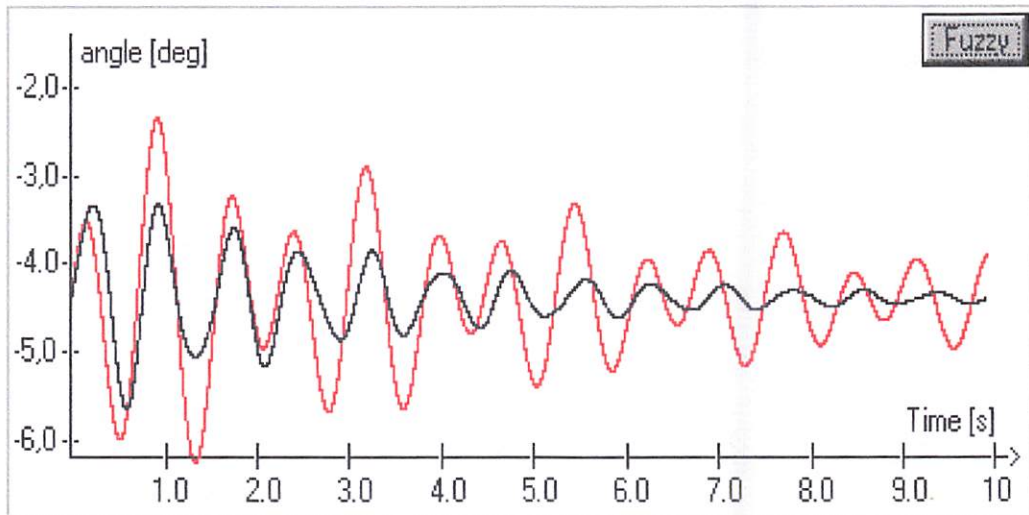
Untuk mengetahui tingkat keberhasilan kendali *fuzzy* pada sistem maka diberikan model-model gangguan pada model sistem tenaga, yang diupayakan telah mewakili secara umum tipe-tipe gangguan yang terjadi pada kondisi *real* di lapangan. Dengan demikian simulasi ini diharapkan mampu memberikan karakteristik kendali sebagaimana yang diharapkan serta pada kondisi nyata tidak terjadi penyimpangan-penyimpangan yang berarti, yang dapat menyebabkan ketidakefektifan dari sistem kendali.

##### **4.1.1 Tipe Gangguan Kecil**

Tipe gangguan kecil dapat dipresentasikan sebagai gangguan sementara yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa pada sistem tenaga dan gangguan hilang dalam 80 mili detik (*temporary fault*). Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2.



**Gambar 4.1** Perubahan sudut daya terhadap waktu pada mode *inter-tie*



**Gambar 4.2** Perubahan sudut daya terhadap waktu pada mode *local*

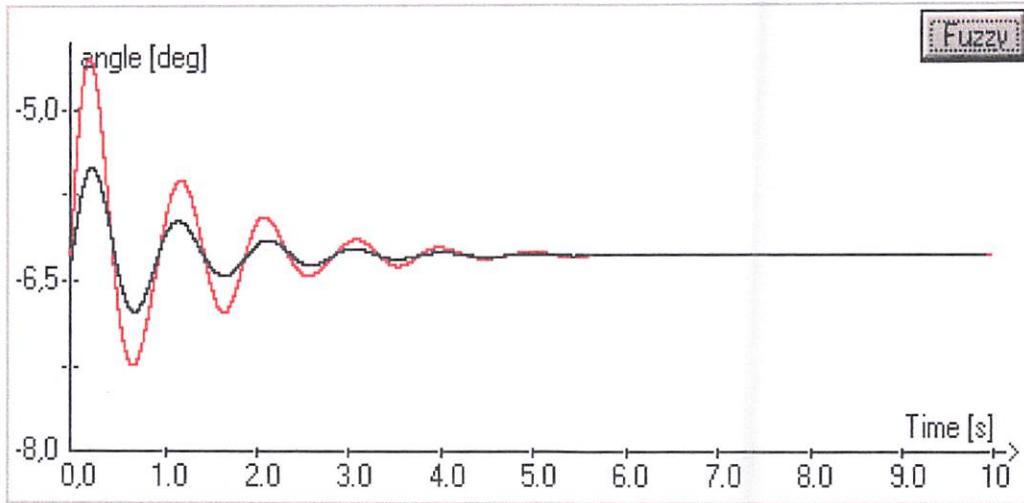
Dari gambar diatas menunjukkan bahwa walaupun tanpa kendali sistem bergerak menuju ke titik kestabilan namun waktu yang ditempuh sangat lama dibanding dengan adanya pengaruh kompensasi seri pada jaringan yang sangat signifikan dalam meredam osilasi khususnya osilasi pada *inter-tie*.

Dari hasil simulasi juga diketahui bahwa besarnya perubahan sudut daya selama 2 detik setelah gangguan terjadi adalah  $\pm 28,34^\circ$  untuk *inter-area* dan  $\pm 2,45^\circ$  untuk lokal. 1 sampai 2 detik pertama adalah masa transien dimana suatu sistem yang terganggu akan mengalami perubahan. Dari simulasi tampak bahwa sudut kritis belum tercapai saat gangguan hilang. Oleh karena itu sistem akan menuju stabil. Sementara dengan kendali *fuzzy* sistem berada pada kondisi stabil bahkan sebelum masa transien terlampaui.

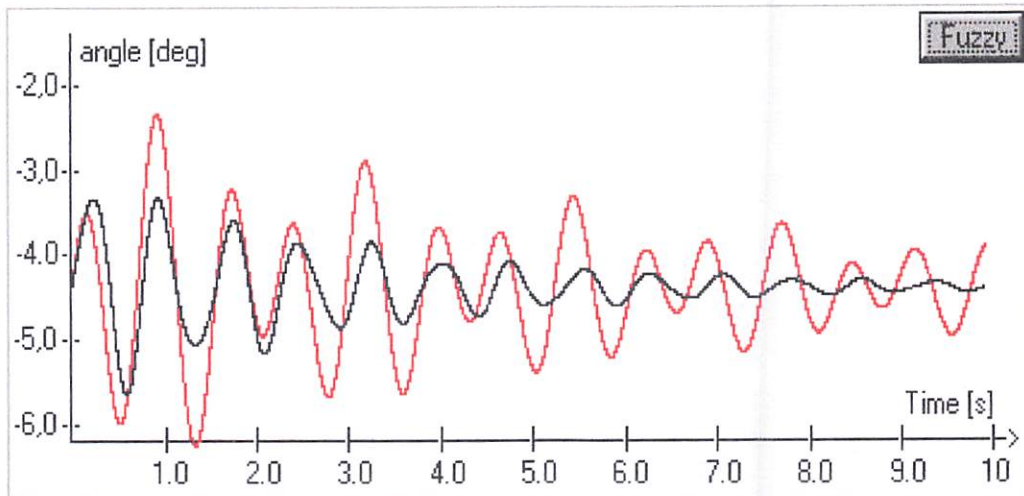
Peredaman osilasi tersebut merupakan akibat penurunan reaktansi jaringan pada *inter-tie*. Karena pada saat sebelum hubung singkat daya yang disalurkan melalui *inter-tie* penuh, sebesar 2000 MW, saat hubung singkat daya turun karena arus hubung singkat langsung hanya melalui reaktansi murni. Oleh karenanya kecepatan rotor bertambah besar hingga melebihi kecepatan sinkronnya. Akibatnya sudut daya juga naik hingga  $33,62^\circ$  pada awal siklus pertama. Ketika kondisi normal dalam 80 mili detik, (2000MW), dengan adanya kapasitor seri yang terkendali maka reaktansi saluran turun dan daya yang tersalurkan menjadi besar. Sehingga laju penurunan daya dapat dikendalikan. Demikian juga pada setengah siklus berikutnya reaktansi saluran diperbesar, sehingga kenaikan daya pada saluran dapat ditahan. Sehingga ayunan daya dapat teredam dalam waktu singkat selama 1.28 detik.

#### 4.1.2 Tipe Perubahan Beban

Perubahan beban ditandai dengan putusnya beban pada bus 4, selama 100 mili detik. Sementara beban saluran *inter-tie* turun menjadi 1500 MW dari 2000 MW. Respon sistem seperti gambar 4.3 dan 4.4



**Gambar 4.3** Perubahan sudut daya terhadap waktu pada mode *inter-tie*



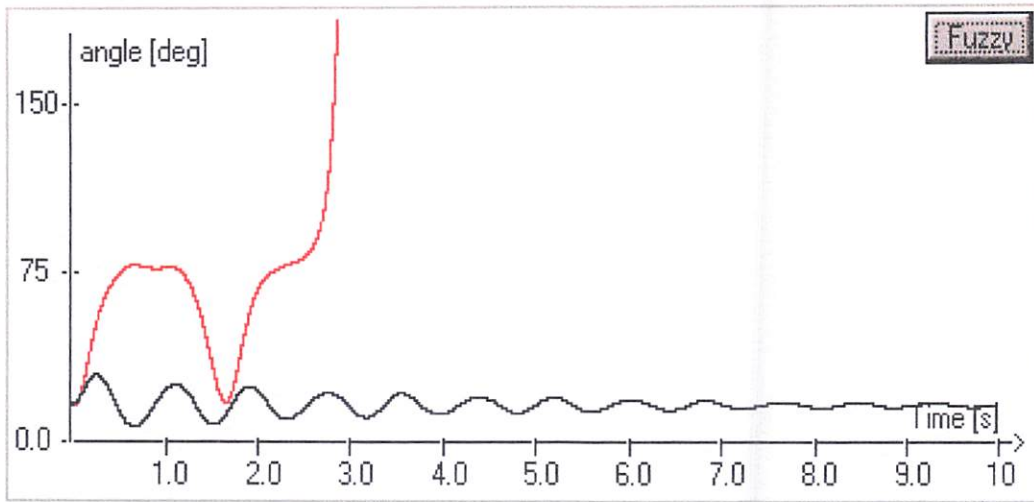
**Gambar 4.4** Perubahan sudut daya terhadap waktu pada mode *local*

Dari gambar 4.3 dan 4.4 terlihat walaupun tanpa kendali sistem bergerak menuju ke titik kestabilan namun, dengan adanya pengaruh kompensasi seri pada jaringan osilasi pada *inter-area* dan *local-area* lebih teredam.

Bila beban pada bus 4 sebesar  $1,5+0,3$  pu tiba-tiba putus, maka daya output generator turun sebesar beban yang sama. Sementara pada analisa transien daya input generator adalah tetap. Akibatnya daya input lebih besar dari pada daya output generator. Sehingga kecepatan rotor naik dan sudut daya naik sampai  $-4,3^\circ$  dan perubahannya sebesar  $2.2^\circ$  untuk *inter-area mode*. Saat beban kembali terpasang maka daya output lebih besar dari daya input sehingga kecepatan rotor turun, sudut daya juga mengikuti. Osilasi yang terjadi saat perubahan beban tidak terlalu besar karena beban yang hilang (berubah) juga tidak terlalu besar dibanding beban *inter-tie*. Oleh karena itu disebut *small disturbance*.

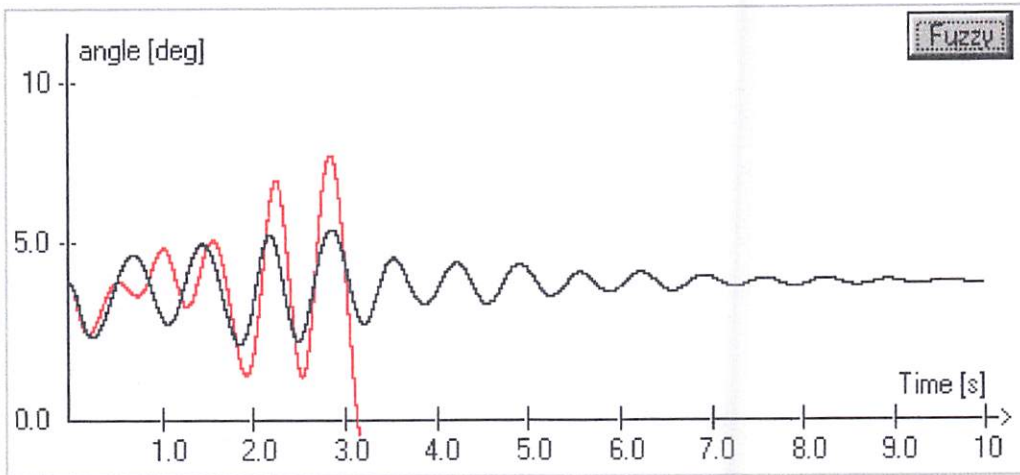
Dengan kendali *fuzzy* yang memasukkan kompensasi kapasitif atau induktif saat daya input generator lebih besar dari daya outputnya atau sebaliknya maka ayunan daya dapat diredam.

### 4.1.3 Tipe Gangguan Besar



**Gambar 4.5** Perubahan sudut daya terhadap waktu pada mode *inter-tie*

Tipe gangguan besar dipresentasikan dengan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah, dan gangguan hilang dalam 100 mili detik dengan membuka saluran. Respon sistem seperti gambar 4.5 dan 4.6.



**Gambar 4.6** Perubahan sudut daya terhadap waktu pada mode *local*

Dari gambar diatas terlihat tanpa kendali sistem yang terganggu tidak stabil, baik *inter-area* maupun *local-area* dengan adanya pengaruh kompensasi seri dengan kendali *fuzzy* sistem menjadi stabil dan osilasi elektromekanis pada *inter-tie* teredam sangat kuat.

Pada *inter-area mode* sistem tidak dapat mempertahankan stabilitas transient pada satu sampai dua detik pertama sehingga kecenderungan perubahan sudut daya makin besar. Hingga pada detik ke 2 melebihi setengah siklus yang pertama sebesar  $86,46^\circ$ , sehingga akhirnya sistem menjadi tidak stabil.

Kondisi tersebut terjadi karena saat hubung singkat daya output generator turun. Sehingga daya input lebih besar dari daya outputnya. Akibatnya kecepatan rotor naik hingga melebihi kecepatan sinkronnya. Sehingga sudut daya naik hingga mencapai  $\pm 80^\circ$  pada satu detik setelah gangguan. Ketika saluran yang terganggu diisolir dengan memutuskan CB, maka daya seharusnya kembali seperti semula. Tetapi karena saat setelah gangguan hilang (*post faulted*) reaktansi saluran *inter-*

*tie* berubah dari total  $0,28\Omega$  menjadi  $0,42\Omega$ . Maka daya tidak lebih besar dari daya output awal, walaupun daya input generator menjadi lebih kecil. Jika daya output lebih besar dari daya inputnya maka kecepatan akan naik hingga melebihi kecepatan sinkronnya. Dan sudut daya akan terus naik hingga melewati batas sinkron. Sistem menjadi tidak stabil.

Dengan kendali *fuzzy* reaktansi saluran hanya ditambahkan kompensasi induktif untuk mengembalikan pada saat kondisi operasi keseimbangan awal (*initial equilibrium point*). Yaitu dengan menambah reaktansi kapasitif  $0,14\Omega$  sehingga total reaktansi saluran *inter-tie*  $0,28\Omega$ . Dengan demikian sebelum melewati batas minimum penurunan daya *output*, maka kendali *fuzzy* telah mengembalikan pada daya *output* semula.

#### 4.2 Analisa Hasil

Dari ketiga jenis kasus dengan tiga tipe gangguan menunjukkan bahwa efektivitas sistem kendali cukup baik. Dengan memberikan tambahan reaktansi kapasitif sebesar  $0,14\Omega$  pada saluran *inter-tie*, maka dapat mengurangi reaktansi saluran setengah dari total saluran pada kondisi normal. Sementara karena terjadinya *power swing* juga membutuhkan reaktansi yang lebih besar untuk meredam *reverse swing*, yang mana pada simulasi ini juga diberikan sebesar  $0,14\Omega$ . Dan hasil menunjukkan redaman osilasi semakin baik. Hal ini terlihat pada kasus ketiga yang hanya diberikan kompensasi seri saja (kapasitor), walaupun sistem menuju ke *equalibrium point* tetapi osilasi masih cukup tinggi. Sementara jika pada gambar 4.6 osilasi sangat kecil.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada model sistem tenaga pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kendali *fuzzy logic controller*, mempunyai kinerja yang sangat kuat dalam meredam osilasi elektromekanis sistem tenaga dengan menambahkan kompensasi seri saluran. Redaman menjadi  $25^\circ$  dari  $33,62^\circ$  untuk setengah siklus pertama setelah gangguan pada gangguan kecil (*small faulted*),  $-5,3^\circ$  dari  $-4,8^\circ$  untuk gangguan perubahan beban, dan  $30$  dari  $86^\circ$  pada gangguan besar.
2. Dengan kendali *fuzzy logic controller* stabilitas sistem tenaga yang gangguan dapat dipertahankan dan tingkat osilasi diperbaiki hingga mencapai  $5^\circ$  dari nilai operasi awal (*initial equilibrium point*) untuk tipe *small faulted*,  $0,3^\circ$  untuk gangguan perubahan beban dan  $7^\circ$  untuk tipe gangguan besar (*large disturbance*).
3. Besarnya tingkat peredaman terhadap osilasi tergantung pada besar kompensasi seri yang ditambahkan pada jaringan secara tepat.

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan yang lebih lanjut penulis mengharapkan kepada pembaca agar dapat melakukan pengembangan lebih lanjut dengan saran sebagai berikut :

1. Tingkat kompleksitas rangkaian perlu diujicobakan dan diberikan juga bentuk atau tipe-tipe gangguan yang lain, seperti gangguan *line to line fault*, *line to ground fault* dan *double line to ground fault*.
2. Diberikan nilai kompensasi induktif secara variatif sehingga mencapai suatu hasil yang semaksimal mungkin dan akurat, baik dari segi stabilitas maupun kemampuan transfer dayanya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Olwegard, et. al. "*Improvement of Transmission Capacity by Thyristor Control Reactive Power*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-100(9):pp. 3939-3933, August, 1981.
2. E.W.Kimbark, "*Improvmwnt of System Stability by Switced Serie Capacitors*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-85 (2): pp. 180-188, Februari, 1966.
3. John J. Grainger, William D. Stevenson, JR., 1994, *Power System Analysis*. New York, McGraw-Hill International Editions.
4. Kundur, 1994, *Power System Stability and Control*. New York, McGraw-Hill, Inc.
5. Li-Xin Wang, 1997, *A Course in Fuzzy System and Control*, New York: Prentice-Hall International, Inc.
6. M. Noroozian, G. Andersson, K. Tomsovic, "*Robust, Near Time-Optimal Control of Power System Oscilations with Fuzzy Logic*",IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, January 1996.
- 6 William D. Stevenson,Jr. "*Analisis Sistem Tenaga*" Edisi Keempat

# **LAMPIRAN**



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama Mahasiswa : FARIADI YUDA SAMPURNA
2. NIM : 99.12.0083
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Energi Listrik
5. Judul Skripsi :

**PENGENDALIAN OSILASI *INTER-AREA* SISTEM TENAGA  
LISTRIK MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY***

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari : Rabu  
Tanggal : 30 Maret 2005  
Dengan Nilai : 75,00 (B)



Ir. Mochtar Asroni, MSME  
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Sekretaris

Angota Penguji

Ir. I Made Wartana, MT  
Penguji Pertama

Ir. Choirul Saleh, MT  
Penguji Kedua



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1)  
yang diselenggarakan pada :

Hari : Rabu  
Tanggal : 30 Maret 2005

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama Mahasiswa : FARIADI YUDA SAMPURNA

NIM : 99.12.083

Jurusan : Teknik Elektro

Konsentrasi : Energi Listrik

Judul Skripsi : **PENGENDALIAN OSILASI *INTER-AREA* SISTEM  
TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN LOGIKA  
*FUZZY***

Perbaikan meliputi :

No.	Materi perbaikan	Keterangan
1.	Perbaikan abstrak	<i>es</i>

Diperiksa/Disetujui

Ir. Choirul Saleh, MT  
Penguji Pertama

Ir. I Made Wartana, MT  
Penguji Kedua

Mengetahui/menyetujui  
Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudji M, MT



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Fariadi Yuda Sampurna  
Nim : 99.12.083  
Masa Bimbingan : 20 Agustus 2004 s/d 20 Februari 2005  
Judul Skripsi : Pengendalian Osilasi *Inter-Area* Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Logika *Fuzzy*

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	15-02-05	formulas materi dasar	
2.	15-02-05	- u - Bab I + Bab II	
3.	15-02-05	- u - Bab III + IV	
4.	15-02-05	Revisi Bab III	
5.	15-02-05	Revisi Bab II	
6.	19-02-05	Acc Bab I	
7.	19-02-05	Acc Bab III	
8.	22-02-05	Revisi Bab IV + V	
9.	22-02-05	Acc Bab IV + V	
10.			

Malang, 2004  
Dosen Pembimbing,

Ir. Widodo Puji Muljanto, MT

Form.S-4b



## Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

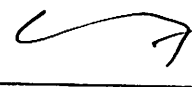
Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : FARIADI  
N I M : 9912083.  
Perbaikan meliputi :

Abstrak & perbaiki.

Malang,

200

(  )




**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI**

1. Nama Mahasiswa : **FARIADI YUDA SAMPURNA**
2. NIM : **99.12.083**
3. Jurusan : **Teknik Elektro S-1**
4. Konsentrasi : **Energi Listrik**
5. Judul Skripsi :

**PENGENDALIAN OSILASI *INTER-AREA* SISTEM TENAGA  
LISTRIK MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY***

6. Tanggal Mengajukan Skripsi : **20 Agustus 2004**
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : **10 Pebruari 2005**
8. Dosen Pembimbing : **Ir. WIDODO PUDJI M, MT**
9. Telah Dievaluasi Dengan Nilai : **78 (Tujuf Puluh Delapan)** 

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**



**Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT**  
NIP. Y. 103.950.0274

**Diperiksa dan Disetujui,  
Dosen Pembimbing**



**Ir. WIDODO PUDJI M, MT**  
NIP. 102.870.0171/P

## Unit interarea\_large;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes,  
Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
ExtCtrls, StdCtrls;

type

TForm6 = class(TForm)  
  PaintBox1: TPaintBox;  
  CheckBox1: TCheckBox;  
  CheckBox2: TCheckBox;  
  procedure PaintBox1Click(Sender: TObject);  
  procedure PaintBox1Paint(Sender: TObject);

private

  procedure Gbr\_Dasar(Sender: TObject);  
  procedure Gbr\_Sumbu(Sender: TObject);  
  procedure Gbr\_Skala(Sender: TObject);  
  procedure gambar(Sender: TObject);  
  procedure gambar\_fuzzy(Sender: TObject);  
  procedure Fuzzy(Sender: TObject);  
  { Private declarations }

public

  { Public declarations }

end;

var

  form6: TForm6;

implementation

{ \$R \*.DFM }

var

  Kotak : TRect;

procedure TForm6.Gbr\_Dasar;

begin

  kotak.Left:=10000;  
  kotak.Right:=10000;  
  kotak.Top:=40000;  
  kotak.Bottom:=40000;  
  SetMapMode(PaintBox1.Canvas.Handle,  
  MM\_ANISOTROPIC);  
  SetWindowExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,  
  20000,  
  160000,  
  nil);

  SetViewPortExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,  
  PaintBox1.Width,  
  -PaintBox1.Height,  
  nil);

  SetWindowOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,  
  0,  
  0,  
  nil);

  SetViewPortOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,  
  PaintBox1.Width div 2,  
  PaintBox1.Height div 2,  
  nil);

end;

Procedure TForm6.Gbr\_Sumbu;

begin

  PaintBox1.Canvas.Brush.Color:=clWhite;  
  PaintBox1.Canvas.FillRect(kotak);  
  PaintBox1.Canvas.Pen.Color:=clBlack;  
  PaintBox1.Canvas.Pen.Width := 5;

  PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,13000); //sb y  
  PaintBox1.Canvas.LineTo(-8800,-11000);  
  PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,-11000); //sb x  
  PaintBox1.Canvas.LineTo(9600,-11000);  
end;

Procedure TForm6.Gbr\_Skala;

begin

  PaintBox1.Canvas.TextOut(-7000,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-7200,-12000,'1.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-5200,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-5400,-12000,'2.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-3400,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-3600,-12000,'3.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-1600,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-1800,-12000,'4.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(200,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-0,-12000,'5.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(2000,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(1800,-12000,'6.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(3800,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(3600,-12000,'7.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(5600,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(5400,-12000,'8.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(7400,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(7200,-12000,'9.0');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(9200,-10500,'I');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(9000,-12000,'10');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(9500,-10000,'>');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(7500,-8500,'Time [s]');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-8600,13000,'angle  
[deg]');

  PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,10000,'-');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,10000,'-');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,10000,'150');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,0,'-');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,0,'-');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-9800,0,'75');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-10000,'-');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,-10000,'-');  
  PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,-10000,'0.0');

end;

{digunakan pada reaktansi gabungan antara X'd + Xtrafo  
+ Xtransmisi

pada generator 2 dan 3. Sementara Tieline dibagi dua  
bus 4-5-1

X24=X'd+Xtrafo+Xtransmisi, Y24=1/X24}

procedure TForm6.Gambar; //-----faulted-----

-

type

  ary = array[1..12] of Double;  
  jos = array[1..12,1..12] of double;

var

  Ko11,ko12,ko13,ko14,ko15,ko16,  
  Ko21,ko22,ko23,ko24,ko25,ko26,  
  Xtot1,Xtot2,Dp1,Dp2,  
  h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,  
  e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,  
  teta12,teta23,teta13,A :double;  
  i,order :Integer;  
  Ke,dx,x :Ary;  
  K :jos;

begin

  order:=11;  
  h:=0.0054;t:=0;tf:=52;D:=0.0;A:=1;

  x[1]:=0; x[2]:=16; x[3]:=0; x[4]:=0; x[5]:=0;x[6]:=0;  
  x[7]:=13.5; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;

```

Xtot1:=2.16; Xtot2:=2.455;
e1:=1.00; e2:=1.02; e3:=1.05;
teta12:=(82.67-90); teta13:=(82.67-90);
teta23:=(82.67-90);
g2:=0.17432; g3:=0.15666;
y12:=0.97363; y13:=0.85011; y23:=0.50861;

Pm:=g2*e2*e2 + y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180);
Pm3:=g3*e3*e3 + y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180);

Dp1:=9e-6+(Xtot1+0.526)*(Xtot1+0.295);
Dp2:=9e-6+(Xtot2+0.526)*(Xtot2+0.295);

while t<=tf do
begin
tk:=t;
PictureBox1.Canvas.Pixels[-8800+trunc(100*t),-
10050+trunc(75*(x[2]))]:=clRed;
if t>=1 then
begin
teta12:=0; teta13:=0; teta23:=(84.17-90);
g2:=0.13520; g3:=0.12683;
y12:=0; y13:=0; y23:=0.35002;
Xtot1:=0.1;Xtot2:=0.15;
end;
if t>1.1 then
begin
teta12:=(84.38-90);
teta13:=(84.38-90);
teta23:=(84.38-90);
g2:=0.14385; g3:=0.13343;
y12:=0.49858; y13:=0.43533;
y23:=0.39068;
Xtot1:=0.1;Xtot2:=0.2;
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-
A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4];
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-
0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-
0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[8])

```

```

-A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6])
-
A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9];
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-0.105)/Dp2+0.677)*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4];
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6])
-
A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9];
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-0.105)/Dp2+0.677)*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4];
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

```

```

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-
A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6])
-
A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9];
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-
0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-
0.105)/Dp2+0.677)*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=k+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-
A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4];
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-
0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-
0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-
A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6])
-
A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9];
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-
0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-
0.105)/Dp2+0.677)*x[9]

```

-x[10]);

```

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

```

procedure TForm6.Fuzzy(Sender: TObject);

```

type
ere1=array[0..3,0..36] of double;
var
ua1,ua2,ua3,ua4,ua5,
s1,s2,s3,s4,
s,
ub1,ub2,ub3,ub4,ub5,ub6,ub7,
bb1,bb2,bb3,bb4,bb5,bb6,bb7,
ba1,ba2,ba3,ba4,ba5,ba6,ba7,
bba,teta,tot_m0,tot_m1,tot_m2,
u_c0,u_c1,u_c2,u,a1,b1,
sig_uxi0,sig_uxi1,sig_uxi2 :double;
ux_m0,sig_ux,sig_m0 :ere1;
i,j,jmlrule,k,l :Integer;

begin
jmlrule:=35;ux{0,0}:=0;
ua1:=0;ua2:=0;ua3:=0;ua4:=0;ua5:=0;
sig_uxi0:=0;sig_uxi1:=0;sig_uxi2:=0;
tot_m0:=0; tot_m1:=0; tot_m2:=0;
ub1:=0;ub2:=0;ub3:=0;ub4:=0;ub5:=0;ub6:=0;ub7:=0;

```

```

for j:=0 to 2 do
for i:=0 to 35 do
begin
ux[j,i]:=0;
m0[j,i]:=0;
sig_ux[j,i]:=0;
end;

```

//-----uS-----

```

if(0<=s) and (s<=s1) then
begin
ua1:=(-s+s1)/s1;
ua2:=s/s1;
end;
if(s1<=s) and (s<=s2) then
begin
ua2:=(-s+s2)/(s2-s1);
ua3:=(s-s1)/(s2-s1);
end;
if(s2<=s) and (s<=s3) then
begin
ua3:=(-s+s3)/(s3-s2);
ua4:=(s-s2)/(s3-s2);
end;
if(s3<=s) and (s<=s4) then
begin
ua4:=(-s+s4)/(s4-s3);
ua5:=(s-s3)/(s4-s3);
end;
if(s4<=s) then
ua5:=1;

```

//-----uB-----

```

if teta>360 then teta:=teta-360;
if(bb1<=teta) and (teta<=(bb1+0.5*(ba1-bb1)))
then
  ub1:=2*(teta-bb1)/(ba1-bb1);
if(bb2<=teta) and (teta<=(bb2+0.5*(ba2-bb2)))
then
  ub2:=2*(teta-bb2)/(ba2-bb2);
if(bb3<=teta) and (teta<=(bb3+0.5*(ba3-bb3)))
then
  ub3:=2*(teta-bb3)/(ba3-bb3);
if(bb4<=teta) and (teta<=(bb4+0.5*(ba4-bb4)))
then
  ub4:=2*(teta-bb4)/(ba4-bb4);
if(bb5<=teta) and (teta<=(bb5+0.5*(ba5-bb5)))
then
  ub5:=2*(teta-bb5)/(ba5-bb5);
if(bb6<=teta) and (teta<=(bb6+0.5*(ba6-bb6)))
then
  ub6:=2*(teta-bb6)/(ba6-bb6);
if(bb7<=teta) and (teta<=(bb7+0.5*(ba7-bb7)))
then
  ub7:=2*(teta-bb7)/(ba7-bb7);
if(bba<=teta) and (teta<=360) then
  ub1:=(teta-bba)/(360-bba);

//-----
if((bb1+0.5*(ba1-bb1))<=teta) and (teta<=ba1)
then
  ub1:=2*(-teta+ba1)/(ba1-bb1);
if((bb2+0.5*(ba2-bb2))<=teta) and (teta<=ba2)
then
  ub2:=2*(-teta+ba2)/(ba2-bb2);
if((bb3+0.5*(ba3-bb3))<=teta) and (teta<=ba3)
then
  ub3:=2*(-teta+ba3)/(ba3-bb3);
if((bb4+0.5*(ba4-bb4))<=teta) and (teta<=ba4)
then
  ub4:=2*(-teta+ba4)/(ba4-bb4);
if((bb5+0.5*(ba5-bb5))<=teta) and (teta<=ba5)
then
  ub5:=2*(-teta+ba5)/(ba5-bb5);
if((bb6+0.5*(ba6-bb6))<=teta) and (teta<=ba6)
then
  ub6:=2*(-teta+ba6)/(ba6-bb6);
if((bb7+0.5*(ba7-bb7))<=teta) and (teta<=ba7)
then
  ub7:=2*(-teta+ba7)/(ba7-bb7);

//-----rule-----
//1

if((0<=s)and(s<=s1)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((0<=s)and(s<=s1)and(bba<=teta)and(teta<=360))
then
  begin
    ux[0,1]:=ua1*ub1;
    ux[1,1]:=0;
    ux[2,1]:=0;
    m0[0,1]:=1;
    m0[1,1]:=0;
    m0[2,1]:=0;
  end;
//2

if((0<=s)and(s<=s2)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1))

```

```

  or((0<=s)and(s<=s2)and(bba<=teta)and(teta<=360))
then
  begin
    ux[0,2]:=0;
    ux[1,2]:=0;
    ux[2,2]:=ua2*ub1;
    m0[0,2]:=0;
    m0[1,2]:=0;
    m0[2,2]:=1;
  end;
//3

if((s1<=s)and(s<=s3)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s1<=s)and(s<=s3)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
  begin
    ux[0,3]:=0;
    ux[1,3]:=0;
    ux[2,3]:=ua3*ub1;
    m0[0,3]:=0;
    m0[1,3]:=0;
    m0[2,3]:=1;
  end;
//4

if((s2<=s)and(s<=s4)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s2<=s)and(s<=s4)and(bba<=teta) and(teta<=360))
then
  begin
    ux[0,4]:=0;
    ux[1,4]:=0;
    ux[2,4]:=ua4*ub1;
    m0[0,4]:=0;
    m0[1,4]:=0;
    m0[2,4]:=1;
  end;
//5

if((s3<=s)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s3<=s)and(bba<=teta)and (teta<=360)) then
  begin
    ux[0,5]:=0;
    ux[1,5]:=0;
    ux[2,5]:=ua5*ub1;
    m0[0,5]:=0;
    m0[1,5]:=0;
    m0[2,5]:=1;
  end;
//6

if((0<=s)and(s<=s1)and(bb2<=teta)and(teta<=ba2)) then
  begin
    ux[0,6]:=ua1*ub2;
    ux[1,6]:=0;
    ux[2,6]:=0;
    m0[0,6]:=1;
    m0[1,6]:=0;
    m0[2,6]:=0;
  end;
//7

if((0<=s)and(s<=s2)and(bb2<=teta)and(teta<=ba2))then
  begin
    ux[0,7]:=0;
    ux[1,7]:=0;
    ux[2,7]:=ua2*ub2;
    m0[0,7]:=0;
    m0[1,7]:=0;
    m0[2,7]:=1;
  end;
//8

if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
  begin

```

```

ux[0,8]:=0;
ux[1,8]:=0;
ux[2,8]:=ua3*ub2;
m0[0,8]:=0;
m0[1,8]:=0;
m0[2,8]:=1;
end;
//9
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb2<=teta) and
(teta<=ba2)) then
begin
ux[0,9]:=0;
ux[1,9]:=0;
ux[2,9]:=ua4*ub2;
m0[0,9]:=0;
m0[1,9]:=0;
m0[2,9]:=1;
end;
//10
if(s3<=s) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
begin
ux[0,10]:=0;
ux[1,10]:=ua5*ub2;
ux[2,10]:=0;
m0[0,10]:=0;
m0[1,10]:=1;
m0[2,10]:=0;
end;
//11
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,11]:=ua1*ub3;
ux[1,11]:=0;
ux[2,11]:=0;
m0[0,11]:=1;
m0[1,11]:=0;
m0[2,11]:=0;
end;
//12
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,12]:=0;
ux[1,12]:=0;
ux[2,12]:=ua2*ub3;
m0[0,12]:=0;
m0[1,12]:=0;
m0[2,12]:=1;
end;
//13
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,13]:=0;
ux[1,13]:=0;
ux[2,13]:=ua3*ub3;
m0[0,13]:=0;
m0[1,13]:=0;
m0[2,13]:=1;
end;
//14
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,14]:=0;
ux[1,14]:=ua4*ub3;
ux[2,14]:=0;

```

```

m0[0,14]:=0;
m0[1,14]:=1;
m0[2,14]:=0;
end;
//15
if(s3<=s) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3)) then
begin
ux[0,15]:=0;
ux[1,15]:=ua5*ub3;
ux[2,15]:=0;
m0[0,15]:=0;
m0[1,15]:=1;
m0[2,15]:=0;
end;
//16
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,16]:=ua1*ub4;
ux[1,16]:=0;
ux[2,16]:=0;
m0[0,16]:=1;
m0[1,16]:=0;
m0[2,16]:=0;
end;
//17
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,17]:=0;
ux[1,17]:=0;
ux[2,17]:=ua2*ub4;
m0[0,17]:=0;
m0[1,17]:=0;
m0[2,17]:=1;
end;
//18
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,18]:=0;
ux[1,18]:=ua3*ub4;
ux[2,18]:=0;
m0[0,18]:=0;
m0[1,18]:=1;
m0[2,18]:=0;
end;
//19
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,19]:=0;
ux[1,19]:=ua4*ub4;
ux[2,19]:=0;
m0[0,19]:=0;
m0[1,19]:=1;
m0[2,19]:=0;
end;
//20
if(s3<=s) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4)) then
begin
ux[0,20]:=0;
ux[1,20]:=ua5*ub4;
ux[2,20]:=0;
m0[0,20]:=0;
m0[1,20]:=1;
m0[2,20]:=0;
end;
//21

```

```
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
```

```
begin
ux[0,21]:=ua1*ub5;
ux[1,21]:=0;
ux[2,21]:=0;
m0[0,21]:=1;
m0[1,21]:=0;
m0[2,21]:=0;
end;
```

```
//22
```

```
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
```

```
begin
ux[0,22]:=0;
ux[1,22]:=ua2*ub5;
ux[2,22]:=0;
m0[0,22]:=0;
m0[1,22]:=1;
m0[2,22]:=0;
end;
```

```
//23
```

```
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
```

```
begin
ux[0,23]:=0;
ux[1,23]:=ua3*ub5;
ux[2,23]:=0;
m0[0,23]:=0;
m0[1,23]:=1;
m0[2,23]:=0;
end;
```

```
//24
```

```
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
```

```
begin
ux[0,24]:=0;
ux[1,24]:=ua4*ub5;
ux[2,24]:=0;
m0[0,24]:=0;
m0[1,24]:=1;
m0[2,24]:=0;
end;
```

```
//25
```

```
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
```

```
begin
ux[0,25]:=0;
ux[1,25]:=ua5*ub5;
ux[2,25]:=0;
m0[0,25]:=0;
m0[1,25]:=1;
m0[2,25]:=0;
end;
```

```
//26
```

```
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
```

```
begin
ux[0,26]:=ua1*ub6;
ux[1,26]:=0;
ux[2,26]:=0;
m0[0,26]:=1;
m0[1,26]:=0;
m0[2,26]:=0;
end;
```

```
//27
```

```
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
```

```
begin
```

```
ux[0,27]:=0;
ux[1,27]:=ua2*ub6;
ux[2,27]:=0;
m0[0,27]:=0;
m0[1,27]:=1;
m0[2,27]:=0;
end;
```

```
//28
```

```
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
```

```
begin
ux[0,28]:=0;
ux[1,28]:=ua3*ub6;
ux[2,28]:=0;
m0[0,28]:=0;
m0[1,28]:=1;
m0[2,28]:=0;
end;
```

```
//29
```

```
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
```

```
begin
ux[0,29]:=0;
ux[1,29]:=0;
ux[2,29]:=ua4*ub6;
m0[0,29]:=0;
m0[1,29]:=0;
m0[2,29]:=1;
end;
```

```
//30
```

```
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
```

```
begin
ux[0,30]:=0;
ux[1,30]:=0;
ux[2,30]:=ua5*ub6;
m0[0,30]:=0;
m0[1,30]:=0;
m0[2,30]:=1;
end;
```

```
//31
```

```
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
```

```
begin
ux[0,31]:=ua1*ub7;
ux[1,31]:=0;
ux[2,31]:=0;
m0[0,31]:=1;
m0[1,31]:=0;
m0[2,31]:=0;
end;
```

```
//32
```

```
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
```

```
begin
ux[0,32]:=0;
ux[1,32]:=0;
ux[2,32]:=ua2*ub7;
m0[0,32]:=0;
m0[1,32]:=0;
m0[2,32]:=1;
end;
```

```
//33
```

```
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
```

```
begin
ux[0,33]:=0;
ux[1,33]:=0;
ux[2,33]:=ua3*ub7;
m0[0,33]:=0;
```

```

m0[1,33]:=0;
m0[2,33]:=1;
end;
//34
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,34]:=0;
ux[1,34]:=0;
ux[2,34]:=ua4*ub7;
m0[0,34]:=0;
m0[1,34]:=0;
m0[2,34]:=1;
end;
//35
if(s3<=s) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,35]:=0;
ux[1,35]:=0;
ux[2,35]:=ua5*ub7;
m0[0,35]:=0;
m0[1,35]:=0;
m0[2,35]:=1;
end;

//-----membership value for the output C0,1,2-
-----
for i:=0 to 2 do
begin
for j:=1 to jmlrule do
begin
sig_ux[i,j]:=0;
sig_m0[i,j]:=0;
for k:=1 to jmlrule do
sig_ux[i,j]:=sig_ux[i,j]+ux[i,k];
for l:=1 to jmlrule do
sig_m0[i,j]:=sig_m0[i,j]+m0[i,l];
sig_uxi0:=sig_ux[0,j];
sig_uxi1:=sig_ux[1,j];
sig_uxi2:=sig_ux[2,j];

tot_m0:=sig_m0[0,j];
tot_m1:=sig_m0[1,j];
tot_m2:=sig_m0[2,j];
end;
end;

if tot_m0=0 then
begin
tot_m0:=0.00001;
u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
end
else u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
if tot_m1=0 then
begin
tot_m1:=0.00001;
u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;
end
else u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;

if tot_m2=0 then
begin
tot_m2:=0.00001;
u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;
end
else u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;

```

```

//-----defuzzification-----
if( u_c0>u_c1) and (u_c0>u_c2) then
begin
u:=u_c0;
end;
if( u_c1>u_c0) and (u_c1>u_c2) then
begin
u:=u_c1;
end;
if( u_c2>u_c0) and (u_c2>u_c1 ) then
begin
u:=u_c2;
end;

end;

procedure TForm6.Gambar_fuzzy;//-----
fuzzzzz-----
type
ary = array[1..12] of Double;
jos = array[1..12,1..12] of double;
var
Ko11,ko12,ko13,ko14,ko15,ko16,
Ko21,ko22,ko23,ko24,ko25,ko26,
Xtot1,Xtot2,Dp1,Dp2,
h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,
e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,
teta12,teta23,teta13,A :double;
i,order :Integer;
Ke,dx,x :Ary;
K :jos;
begin
order:=11;
h:=0.001;t:=0;tf:=90;D:=0;A:=1;

x[1]:=0; x[2]:=16; x[3]:=0; x[4]:=0; x[5]:=0;x[6]:=0;
x[7]:=13.5; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;

Xtot1:=2.16;Xtot2:=2.455;
e1:=1.00; e2:=1.02; e3:=1.05;
teta12:=(82.67-90); teta13:=(82.67-90);
teta23:=(82.67-90);
g2:=0.17432; g3:=0.15666;
y12:=0.97363; y13:=0.85011; y23:=0.50861;

Pm:=g2*e2*e2 + y12*e1*e2*sin((x[2]-teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180);
Pm3:=g3*e3*e3 + y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180);

Dp1:=9e-6+(Xtot1+0.526)*(Xtot1+0.295);
Dp2:=9e-6+(Xtot2+0.526)*(Xtot2+0.295);

while t<=tf do
begin
tk:=t;
PaintBox1.Canvas.Pixels[-8800+trunc(200*t),-
10050+trunc(75*(x[2]))]:=clBlack;
if t>=0 then
begin
teta12:=0; teta13:=0; teta23:=(84.17-90);
g2:=0.13520; g3:=0.12683;
y12:=0; y13:=0; y23:=0.35002;
Xtot1:=0.1;Xtot2:=0.15;
end;
if t>0.1 then
begin
teta12:=(84.38-90);

```

```

teta13:=(84.38-90);
teta23:=(84.38-90);
g2:=0.14385; g3:=0.13343;
y12:=0.49858; y13:=0.43533;
y23:=0.39068;
Xtot1:=0.1;Xtot2:=0.2;
// d:=1;
end;
if t>1.5 then
begin
Xtot1:=0.1;Xtot2:=0.2;
teta12:=(82.67-90);
teta13:=(82.67-90);
teta23:=(82.67-90);
g2:=0.17432; g3:=0.15666;
y12:=0.97363; y13:=0.85011;
y23:=0.50861;
d:=0.5;
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-
A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4];
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-
0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-
0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6]
-
A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9];
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-
0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-
0.105)/Dp2+0.677)*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

```

```

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4]);
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6]
-
A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9]);
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-0.105)/Dp2+0.677)*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4]);
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6]
-
A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9]);
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-0.105)/Dp2+0.677)*x[9]
-x[10]);

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-A*(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1*x[1]
-A*((0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011)*x[4]);
dx[4]:=A*((-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1*x[1]
+((-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254)*x[4]
-26.6*x[5]);
dx[5]:=A*66.67*((0.062*Xtot1-
0.017)/Dp1*x[1]
+((-0.197*Xtot1-
0.103)/Dp1+0.663)*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-A*((1.525*Xtot2+0.468)/Dp2*x[6])
-A*((0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919)*x[9]);
dx[9]:=A*((-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2*x[6]
+((-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254)*x[9]
-26.6*x[10]);
dx[10]:=A*66.67*((0.210*Xtot2-
0.050)/Dp2*x[6]
+((-0.201*Xtot2-
0.105)/Dp2+0.677)*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];

x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K
[4,i]);
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm6.PaintBox1Click(Sender:
TObject);
begin
if checkbox1.checked=true then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);

```

```

Gbr_Skala(Sender);
gambar(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end;
end;
if checkbox1.checked=false then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
end
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm6.PaintBox1Paint(Sender: TObject);
begin
if checkbox1.checked=true then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
gambar(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end;
end;
if checkbox1.checked=false then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
end
end;
end;
end;

```

## Unit interarea\_load;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes,  
Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
ExtCtrls, StdCtrls;

type

TForm4 = class(TForm)  
  PaintBox1: TPaintBox;  
  CheckBox1: TCheckBox;  
  CheckBox2: TCheckBox;  
  procedure PaintBox1Click(Sender: TObject);  
  procedure PaintBox1Paint(Sender: TObject);

private

  procedure Gbr\_Dasar(Sender: TObject);  
  procedure Gbr\_Sumbu(Sender: TObject);  
  procedure Gbr\_Skala(Sender: TObject);  
  procedure gambar(Sender: TObject);  
  procedure gambar\_fuzzy(Sender: TObject);  
  procedure fuzzy(Sender: TObject);  
  { Private declarations }

public

  { Public declarations }

end;

var

  form4: TForm4;

implementation

  {\$R \*.DFM}

  Var

    Kotak :TRect;

  procedure TForm4.Gambar\_fuzzy;

  type

    ary = array[1..12] of Double;

    jos = array[1..12,1..12] of double;

  var

    Ko11,ko12,ko13,ko14,ko15,ko16,

    Ko21,ko22,ko23,ko24,ko25,ko26,

    Xtot1,Xtot2,Dp1,Dp2,

    h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,

    e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,M,

    teta12,teta23,teta13 :double;

    i,order :Integer;

    Ke,dx,x :Ary;

    K :jos;

  begin

    //Case i

    order:=11;

    h:=0.0005;t:=0;tf:=51.5;D:=1.5; m:=4;

    Xtot1:=9.82;Xtot2:=5.5;

    x[1]:=0; x[2]:=-4.5; x[3]:=0; x[4]:=0;

    x[5]:=0;x[6]:=0;

    x[7]:=8.6; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;

    e1:=1.00;e2:=1.15;e3:=1.25;

    teta12:=72.17-90;

    teta13:=72.17-90;

    teta23:=72.17-90;

    g2:=0.27117; g3:=0.23050; y12:=0.93452;

    y13:=0.81596; y23:=0.48818;

    Pm:=(g2\*e2\*e2 + y12\*e1\*e2\*sin((x[2]-teta12)\*pi/180)+  
    y23\*e2\*e3\*sin((x[2]-x[7]-teta23)\*pi/180));

    Pm3:=(g3\*e3\*e3 + y13\*e1\*e3\*sin((x[7]-  
    teta13)\*pi/180)+  
    y23\*e2\*e3\*sin((x[7]-x[2]-teta23)\*pi/180));

    Dp1:=0.155+0.821\*Xtot1+sqrt(Xtot1);

    Dp2:=0.155+0.821\*Xtot2+sqrt(Xtot2);

    Ko11:=(1.468\*Xtot1+0.492)/Dp1; //delta=16

    Ko12:=(0.303\*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011;

    Ko13:=(-0.116\*Xtot1-0.027)/Dp1;

    Ko14:=(-0.143\*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254;

    Ko15:=(0.062\*Xtot1-0.017)/Dp1;

    Ko16:=(-0.197\*Xtot1-0.103)/Dp1+0.663;

    Ko21:=(1.525\*Xtot2+0.468)/Dp2; //delta=13

    Ko22:=(0.276\*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919;

    Ko23:=(-0.040\*Xtot2-0.022)/Dp2;

    Ko24:=(-0.143\*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254;

    Ko25:=(0.210\*Xtot2-0.050)/Dp2;

    Ko26:=(-0.201\*Xtot2-0.105)/Dp2+0.677;

  while t<=tf do

  begin

    tk:=t;

    PaintBox1.Canvas.Pixels[-  
    8800+trunc(350\*t),20000+trunc(2000\*(x[2]))]:=clBlack;

  if t>=0 then

  begin

    teta12:=83.13-90; teta13:=83.13-90;

    teta23:=83.13-90;

    g2:=0.17251; g3:=0.15528;

    y12:=1.01374; y13:=0.88513; y23:=0.52956;

  end;

  if t>0.1 then

  begin

    teta12:=72.17-90;

    teta13:=72.17-90;

    teta23:=72.17-90;

    g2:=0.27117; g3:=0.2150; y12:=0.9452;

    y13:=0.9896; y23:=0.39818;

  end;

    dx[1]:=x[3]; //delta\_delta

    dx[2]:=377\*x[3]; //delta 2

    dx[3]:=1/M\*(Pm-(g2\*e2\*e2+y12\*e1\*e2\*sin((x[2]-  
    teta12)\*pi/180))

    -(y23\*e2\*e3\*sin((x[2]-x[7]-teta23)\*pi/180))

    -(D\*x[3])

    -Ko11\*x[1]

    -Ko12\*x[4]);

    dx[4]:=Ko13\*x[1]

    +Ko14\*x[4]

    -2.66\*x[5];

    dx[5]:=66.67\*(Ko15\*x[1]

    +Ko16\*x[4]

    -x[5]);

    dx[6]:=x[8];

    dx[7]:=377\*x[8]; //delta 3

    dx[8]:=1/M\*(Pm3-(g3\*e3\*e3+y13\*e1\*e3\*sin((x[7]-  
    teta13)\*pi/180))

    -(y23\*e2\*e3\*sin((x[7]-x[2]-teta23)\*pi/180))

    -(D\*x[8])

    -(Ko21\*x[6])

    -Ko22\*x[9]);

    dx[9]:=Ko23\*x[6]

```

+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-Ko11*x[1]
-Ko12*x[4]);
dx[4]:=Ko13*x[1]
+Ko14*x[4]
-2.66*x[5];
dx[5]:=66.67*(Ko15*x[1]
+Ko16*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/M*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-(Ko21*x[6])
-Ko22*x[9]);
dx[9]:=Ko23*x[6]
+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-Ko11*x[1]
-Ko12*x[4]);
dx[4]:=Ko13*x[1]
+Ko14*x[4]
-2.66*x[5];
dx[5]:=66.67*(Ko15*x[1]
+Ko16*x[4]
-x[5]);

```

```

-x[5];
dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/M*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-(Ko21*x[6])
-Ko22*x[9]);
dx[9]:=Ko23*x[6]
+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-Ko11*x[1]
-Ko12*x[4]);
dx[4]:=Ko13*x[1]
+Ko14*x[4]
-2.66*x[5];
dx[5]:=66.67*(Ko15*x[1]
+Ko16*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/8*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-(Ko21*x[6])
-Ko22*x[9]);
dx[9]:=Ko23*x[6]
+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

procedure TForm4.Fuzzy(Sender: TObject);
type
ere1=array[0..3,0..36] of double;
var
ua1,ua2,ua3,ua4,ua5,

```

```

s1,s2,s3,s4,
s,
ub1,ub2,ub3,ub4,ub5,ub6,ub7,
bb1,bb2,bb3,bb4,bb5,bb6,bb7,
ba1,ba2,ba3,ba4,ba5,ba6,ba7,
bba,teta,tot_m0,tot_m1,tot_m2,
u_c0,u_c1,u_c2,u_a1,b1,
sig_uxi0,sig_uxi1,sig_uxi2 :double;
ux,m0,sig_ux,sig_m0 :ere1;
i,j,jmlrule,k,l :Integer;

```

```
begin
```

```

jmlrule:=35;ux[0,0]:=0;
ua1:=0;ua2:=0;ua3:=0;ua4:=0;ua5:=0;
sig_uxi0:=0;sig_uxi1:=0;sig_uxi2:=0;
tot_m0:=0; tot_m1:=0; tot_m2:=0;
ub1:=0;ub2:=0;ub3:=0;ub4:=0;ub5:=0;ub6:=0;ub7:=0;

```

```

for j:=0 to 2 do
for i:=0 to 35 do
begin
ux[j,i]:=0;
m0[j,i]:=0;
sig_ux[j,i]:=0;
end;

```

```
//-----uS-----
```

```

if(0<=s) and (s<=s1) then
begin
ua1:=(-s+s1)/s1;
ua2:=s/s1;
end;
if(s1<=s) and (s<=s2) then
begin
ua2:=(-s+s2)/(s2-s1);
ua3:=(s-s1)/(s2-s1);
end;
if(s2<=s) and (s<=s3) then
begin
ua3:=(-s+s3)/(s3-s2);
ua4:=(s-s2)/(s3-s2);
end;
if(s3<=s) and (s<=s4) then
begin
ua4:=(-s+s4)/(s4-s3);
ua5:=(s-s3)/(s4-s3);
end;
if(s4<=s) then
ua5:=1;

```

```
//-----uB-----
```

```

if teta>360 then teta:=teta-360;
if(bb1<=teta) and (teta<=(bb1+0.5*(ba1-bb1)))
then
ub1:=2*(teta-bb1)/(ba1-bb1);
if(bb2<=teta) and (teta<=(bb2+0.5*(ba2-bb2)))
then
ub2:=2*(teta-bb2)/(ba2-bb2);
if(bb3<=teta) and (teta<=(bb3+0.5*(ba3-bb3)))
then
ub3:=2*(teta-bb3)/(ba3-bb3);
if(bb4<=teta) and (teta<=(bb4+0.5*(ba4-bb4)))
then
ub4:=2*(teta-bb4)/(ba4-bb4);
if(bb5<=teta) and (teta<=(bb5+0.5*(ba5-bb5)))
then

```

```

ub5:=2*(teta-bb5)/(ba5-bb5);
if(bb6<=teta) and (teta<=(bb6+0.5*(ba6-bb6))) then
ub6:=2*(teta-bb6)/(ba6-bb6);
if(bb7<=teta) and (teta<=(bb7+0.5*(ba7-bb7))) then
ub7:=2*(teta-bb7)/(ba7-bb7);
if(bba<=teta) and (teta<=360) then
ub1:=(teta-bba)/(360-bba);

```

```
//-----
```

```

if((bb1+0.5*(ba1-bb1))<=teta) and (teta<=ba1) then
ub1:=2*(-teta+ba1)/(ba1-bb1);
if((bb2+0.5*(ba2-bb2))<=teta) and (teta<=ba2) then
ub2:=2*(-teta+ba2)/(ba2-bb2);
if((bb3+0.5*(ba3-bb3))<=teta) and (teta<=ba3) then
ub3:=2*(-teta+ba3)/(ba3-bb3);
if((bb4+0.5*(ba4-bb4))<=teta) and (teta<=ba4) then
ub4:=2*(-teta+ba4)/(ba4-bb4);
if((bb5+0.5*(ba5-bb5))<=teta) and (teta<=ba5) then
ub5:=2*(-teta+ba5)/(ba5-bb5);
if((bb6+0.5*(ba6-bb6))<=teta) and (teta<=ba6) then
ub6:=2*(-teta+ba6)/(ba6-bb6);
if((bb7+0.5*(ba7-bb7))<=teta) and (teta<=ba7) then
ub7:=2*(-teta+ba7)/(ba7-bb7);

```

```
//-----rule-----
```

```
//1
```

```

if((0<=s)and(s<=s1)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((0<=s)and(s<=s1)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin

```

```

ux[0,1]:=ua1*ub1;
ux[1,1]:=0;
ux[2,1]:=0;
m0[0,1]:=1;
m0[1,1]:=0;
m0[2,1]:=0;
end;
//2

```

```

if((0<=s)and(s<=s2)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1))
or((0<=s)and(s<=s2)and(bba<=teta)and(teta<=360))
then

```

```

begin
ux[0,2]:=0;
ux[1,2]:=0;
ux[2,2]:=ua2*ub1;
m0[0,2]:=0;
m0[1,2]:=0;
m0[2,2]:=1;
end;
//3

```

```

if((s1<=s)and(s<=s3)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s1<=s)and(s<=s3)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then

```

```

begin
ux[0,3]:=0;
ux[1,3]:=0;
ux[2,3]:=ua3*ub1;
m0[0,3]:=0;
m0[1,3]:=0;
m0[2,3]:=1;
end;

```

```
//4
```

```

if((s2<=s)and(s<=s4)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s2<=s)and(s<=s4)and(bba<=teta) and(teta<=360))
then
begin

```

```

ux[0,4]:=0;
ux[1,4]:=0;
ux[2,4]:=ua4*ub1;
m0[0,4]:=0;
m0[1,4]:=0;
m0[2,4]:=1;
end;
//5
if((s3<=s)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s3<=s)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin
ux[0,5]:=0;
ux[1,5]:=0;
ux[2,5]:=ua5*ub1;
m0[0,5]:=0;
m0[1,5]:=0;
m0[2,5]:=1;
end;
//6
if(0<=s)and(s<=s1)and(bb2<=teta)and(teta<=ba
2) then
begin
ux[0,6]:=ua1*ub2;
ux[1,6]:=0;
ux[2,6]:=0;
m0[0,6]:=1;
m0[1,6]:=0;
m0[2,6]:=0;
end;
//7
if(0<=s)and(s<=s2)and(bb2<=teta)and(teta<=ba
2)then
begin
ux[0,7]:=0;
ux[1,7]:=0;
ux[2,7]:=ua2*ub2;
m0[0,7]:=0;
m0[1,7]:=0;
m0[2,7]:=1;
end;
//8
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb2<=teta) and
(teta<=ba2)) then
begin
ux[0,8]:=0;
ux[1,8]:=0;
ux[2,8]:=ua3*ub2;
m0[0,8]:=0;
m0[1,8]:=0;
m0[2,8]:=1;
end;
//9
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb2<=teta) and
(teta<=ba2)) then
begin
ux[0,9]:=0;
ux[1,9]:=0;
ux[2,9]:=ua4*ub2;
m0[0,9]:=0;
m0[1,9]:=0;
m0[2,9]:=1;
end;
//10
if(s3<=s) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
begin
ux[0,10]:=0;
ux[1,10]:=ua5*ub2;
ux[2,10]:=0;

```

```

m0[0,10]:=0;
m0[1,10]:=1;
m0[2,10]:=0;
end;
//11
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,11]:=ua1*ub3;
ux[1,11]:=0;
ux[2,11]:=0;
m0[0,11]:=1;
m0[1,11]:=0;
m0[2,11]:=0;
end;
//12
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,12]:=0;
ux[1,12]:=0;
ux[2,12]:=ua2*ub3;
m0[0,12]:=0;
m0[1,12]:=0;
m0[2,12]:=1;
end;
//13
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,13]:=0;
ux[1,13]:=0;
ux[2,13]:=ua3*ub3;
m0[0,13]:=0;
m0[1,13]:=0;
m0[2,13]:=1;
end;
//14
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,14]:=0;
ux[1,14]:=ua4*ub3;
ux[2,14]:=0;
m0[0,14]:=0;
m0[1,14]:=1;
m0[2,14]:=0;
end;
//15
if(s3<=s) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3)) then
begin
ux[0,15]:=0;
ux[1,15]:=ua5*ub3;
ux[2,15]:=0;
m0[0,15]:=0;
m0[1,15]:=1;
m0[2,15]:=0;
end;
//16
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,16]:=ua1*ub4;
ux[1,16]:=0;
ux[2,16]:=0;
m0[0,16]:=1;
m0[1,16]:=0;
m0[2,16]:=0;
end;

```

```

//17
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb4<=teta) and
(teta<=ba4)) then
begin
ux[0,17]:=0;
ux[1,17]:=0;
ux[2,17]:=ua2*ub4;
m0[0,17]:=0;
m0[1,17]:=0;
m0[2,17]:=1;
end;
//18
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb4<=teta) and
(teta<=ba4)) then
begin
ux[0,18]:=0;
ux[1,18]:=ua3*ub4;
ux[2,18]:=0;
m0[0,18]:=0;
m0[1,18]:=1;
m0[2,18]:=0;
end;
//19
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb4<=teta) and
(teta<=ba4)) then
begin
ux[0,19]:=0;
ux[1,19]:=ua4*ub4;
ux[2,19]:=0;
m0[0,19]:=0;
m0[1,19]:=1;
m0[2,19]:=0;
end;
//20
if(s3<=s) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,20]:=0;
ux[1,20]:=ua5*ub4;
ux[2,20]:=0;
m0[0,20]:=0;
m0[1,20]:=1;
m0[2,20]:=0;
end;
//21
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,21]:=ua1*ub5;
ux[1,21]:=0;
ux[2,21]:=0;
m0[0,21]:=1;
m0[1,21]:=0;
m0[2,21]:=0;
end;
//22
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,22]:=0;
ux[1,22]:=ua2*ub5;
ux[2,22]:=0;
m0[0,22]:=0;
m0[1,22]:=1;
m0[2,22]:=0;
end;
//23
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,23]:=0;
ux[1,23]:=ua3*ub5;
ux[2,23]:=0;
m0[0,23]:=0;
m0[1,23]:=1;
m0[2,23]:=0;
end;
//24
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb5<=teta) and (teta<=ba5))
then
begin
ux[0,24]:=0;
ux[1,24]:=ua4*ub5;
ux[2,24]:=0;
m0[0,24]:=0;
m0[1,24]:=1;
m0[2,24]:=0;
end;
//25
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
begin
ux[0,25]:=0;
ux[1,25]:=ua5*ub5;
ux[2,25]:=0;
m0[0,25]:=0;
m0[1,25]:=1;
m0[2,25]:=0;
end;
//26
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,26]:=ua1*ub6;
ux[1,26]:=0;
ux[2,26]:=0;
m0[0,26]:=1;
m0[1,26]:=0;
m0[2,26]:=0;
end;
//27
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,27]:=0;
ux[1,27]:=ua2*ub6;
ux[2,27]:=0;
m0[0,27]:=0;
m0[1,27]:=1;
m0[2,27]:=0;
end;
//28
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,28]:=0;
ux[1,28]:=ua3*ub6;
ux[2,28]:=0;
m0[0,28]:=0;
m0[1,28]:=1;
m0[2,28]:=0;
end;
//29
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,29]:=0;
ux[1,29]:=0;
ux[2,29]:=ua4*ub6;

```

```

e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,M,
teta12,teta23,teta13 :double;
i,order :Integer;
Ke,dx,x :Ary;
K :jos;
begin
//Case i
order:=11;
h:=0.0005;t:=0;tf:=60;D:=1.5; m:=5;

Xtot1:=9.82;Xtot2:=5.5;
x[1]:=0; x[2]:=-4.2; x[3]:=0; x[4]:=0;
x[5]:=0;x[6]:=0;
x[7]:=8.6; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
e1:=1.00;e2:=1.15;e3:=1.25;
teta12:=72.17-90;
teta13:=72.17-90;
teta23:=72.17-90;
//-----
g2:=0.27117; g3:=0.23050; y12:=0.93452;
y13:=0.81596; y23:=0.48818;
//-----
Pm:=g2*e2*e2 + y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180);
Pm3:=g3*e3*e3 + y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180);

Dp1:=0.155+0.821*Xtot1+sqr(Xtot1);
Dp2:=0.155+0.821*Xtot2+sqr(Xtot2);

Ko11:=(1.468*Xtot1+0.492)/Dp1; //delta=16
Ko12:=(0.303*Xtot1+0.163)/Dp1+1.011;
Ko13:=(-0.116*Xtot1-0.027)/Dp1;
Ko14:=(-0.143*Xtot1-0.075)/Dp1-0.254;
Ko15:=(0.062*Xtot1-0.017)/Dp1;
Ko16:=(-0.197*Xtot1-0.103)/Dp1+0.663;

Ko21:=(1.525*Xtot2+0.468)/Dp2; //delta0=13
Ko22:=(0.276*Xtot2+0.148)/Dp2+0.919;
Ko23:=(-0.040*Xtot2-0.022)/Dp2;
Ko24:=(-0.143*Xtot2-0.075)/Dp2-0.254;
Ko25:=(0.210*Xtot2-0.050)/Dp2;
Ko26:=(-0.201*Xtot2-0.105)/Dp2+0.677;

while t<=tf do
begin
tk:=t;
PictureBox1.Canvas.Pixels[-
8800+trunc(300*t),98000+trunc(5000*(x[2]))]:=
clRed;
if t>=0 then
begin
teta12:=83.13-90; teta13:=83.13-90;
teta23:=83.13-90;
g2:=0.17251; g3:=0.15528;
y12:=1.1374; y13:=0.88513; y23:=0.52956;
end;
if t>0.1 then
begin
teta12:=72.17-90;
teta13:=72.17-90;
teta23:=72.17-90;
g2:=0.27117; g3:=0.23050; y12:=0.93452;
y13:=0.81596; y23:=0.48818;
end;

```

```

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-Ko11*x[1]
-Ko12*x[4]);
dx[4]:=Ko13*x[1]
+Ko14*x[4]
-2.66*x[5];
dx[5]:=66.67*(Ko15*x[1]
+Ko16*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/M*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-(Ko21*x[6])
-Ko22*x[9]);
dx[9]:=Ko23*x[6]
+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-Ko11*x[1]
-Ko12*x[4]);
dx[4]:=Ko13*x[1]
+Ko14*x[4]
-2.66*x[5];
dx[5]:=66.67*(Ko15*x[1]
+Ko16*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/M*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-(Ko21*x[6])
-Ko22*x[9]);
dx[9]:=Ko23*x[6]
+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

```

```

m0[0,29]:=0;
m0[1,29]:=0;
m0[2,29]:=1;
end;
//30
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,30]:=0;
ux[1,30]:=0;
ux[2,30]:=ua5*ub6;
m0[0,30]:=0;
m0[1,30]:=0;
m0[2,30]:=1;
end;
//31
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,31]:=ua1*ub7;
ux[1,31]:=0;
ux[2,31]:=0;
m0[0,31]:=1;
m0[1,31]:=0;
m0[2,31]:=0;
end;
//32
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,32]:=0;
ux[1,32]:=0;
ux[2,32]:=ua2*ub7;
m0[0,32]:=0;
m0[1,32]:=0;
m0[2,32]:=1;
end;
//33
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,33]:=0;
ux[1,33]:=0;
ux[2,33]:=ua3*ub7;
m0[0,33]:=0;
m0[1,33]:=0;
m0[2,33]:=1;
end;
//34
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,34]:=0;
ux[1,34]:=0;
ux[2,34]:=ua4*ub7;
m0[0,34]:=0;
m0[1,34]:=0;
m0[2,34]:=1;
end;
//35
if(s3<=s) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,35]:=0;
ux[1,35]:=0;
ux[2,35]:=ua5*ub7;
m0[0,35]:=0;
m0[1,35]:=0;
m0[2,35]:=1;

```

```

end;
//-----membership value for the output C0,1,2-----
for i:=0 to 2 do
begin
for j:=1 to jmlrule do
begin
sig_ux[i,j]:=0;
sig_m0[i,j]:=0;
for k:=1 to jmlrule do
sig_ux[i,j]:=sig_ux[i,j]+ux[i,k];
for l:=1 to jmlrule do
sig_m0[i,j]:=sig_m0[i,j]+m0[i,l];
sig_uxi0:=sig_ux[0,j];
sig_uxi1:=sig_ux[1,j];
sig_uxi2:=sig_ux[2,j];

tot_m0:=sig_m0[0,j];
tot_m1:=sig_m0[1,j];
tot_m2:=sig_m0[2,j];
end;
end;

if tot_m0=0 then
begin
tot_m0:=0.00001;
u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
end
else u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
if tot_m1=0 then
begin
tot_m1:=0.00001;
u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;
end
else u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;

if tot_m2=0 then
begin
tot_m2:=0.00001;
u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;
end
else u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;

//-----defuzzification-----
if( u_c0>u_c1) and (u_c0>u_c2 ) then
begin
u:=u_c0;
end;
if( u_c1>u_c0) and (u_c1>u_c2 ) then
begin
u:=u_c1;
end;
if( u_c2>u_c0) and (u_c2>u_c1 ) then
begin
u:=u_c2;
end;
end;

procedure Tform4.Gambar;
type
ary = array[1..12] of Double;
jos = array[1..12,1..12] of double;
var
Ko11,ko12,ko13,ko14,ko15,ko16,
Ko21,ko22,ko23,ko24,ko25,ko26,
Xtot1,Xtot2,Dp1,Dp2,
h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-Ko11*x[1]
-Ko12*x[4]);
dx[4]:=Ko13*x[1]
+Ko14*x[4]
-2.66*x[5];
dx[5]:=66.67*(Ko15*x[1]
+Ko16*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3
dx[8]:=1/M*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-(Ko21*x[6])
-Ko22*x[9]);
dx[9]:=Ko23*x[6]
+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

dx[1]:=x[3]; //delta_delta
dx[2]:=377*x[3]; //delta 2
dx[3]:=1/8*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[2]-
teta12)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[2]-x[7]-
teta23)*pi/180))
-(D*x[3])
-Ko11*x[1]
-Ko12*x[4]);
dx[4]:=Ko13*x[1]
+Ko14*x[4]
-2.66*x[5];
dx[5]:=66.67*(Ko15*x[1]
+Ko16*x[4]
-x[5]);

dx[6]:=x[8];
dx[7]:=377*x[8]; //delta 3

```

```

dx[8]:=1/8*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[7]-
teta13)*pi/180))
-(y23*e2*e3*sin((x[7]-x[2]-teta23)*pi/180))
-(D*x[8])
-(Ko21*x[6])
-Ko22*x[9]);
dx[9]:=Ko23*x[6]
+Ko24*x[9]
-2.66*x[10];
dx[10]:=66.67*(Ko25*x[6]
+Ko26*x[9]
-x[10]);

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm4.Gbr_Dasar;
begin
kotak.Left:=10000;
kotak.Right:=10000;
kotak.Top:=40000;
kotak.Bottom:=-40000;
SetMapMode(PaintBox1.Canvas.Handle,
MM_ANISOTROPIC);
SetWindowExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
20000,
160000,
nil);
SetViewportExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width,
-PaintBox1.Height,
nil);
SetWindowOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
0,
0,
nil);
SetViewportOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width div 2,
PaintBox1.Height-20,
nil);
end;

```

```

Procedure TForm4.Gbr_Sumbu;
begin
PaintBox1.Canvas.Brush.Color:=clWhite;
PaintBox1.Canvas.FillRect(kotak);
PaintBox1.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
PaintBox1.Canvas.Pen.Width := 5;
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,0); //sb y
PaintBox1.Canvas.LineTo(-8800,24000);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,0); //sb x
PaintBox1.Canvas.LineTo(9600,0);
end;

```

```

Procedure TForm4.Gbr_Skala;
begin
PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-500,'0,0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7000,500,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7200,-500,'1.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5200,500,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5400,-500,'2.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3400,500,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3600,-500,'3.0');

```

```

PictureBox1.Canvas.TextOut(-1600,500,'!');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-1800,-500,'4.0');
PictureBox1.Canvas.TextOut(200,500,'!');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-0,-500,'5.0');
PictureBox1.Canvas.TextOut(2000,500,'!');
PictureBox1.Canvas.TextOut(1800,-500,'6.0');
PictureBox1.Canvas.TextOut(3800,500,'!');
PictureBox1.Canvas.TextOut(3600,-500,'7.0');
PictureBox1.Canvas.TextOut(5600,500,'!');
PictureBox1.Canvas.TextOut(5400,-500,'8.0');
PictureBox1.Canvas.TextOut(7400,500,'!');
PictureBox1.Canvas.TextOut(7200,-500,'9.0');
PictureBox1.Canvas.TextOut(9200,500,'!');
PictureBox1.Canvas.TextOut(9000,-500,'10');
PictureBox1.Canvas.TextOut(9500,1000,'>');
PictureBox1.Canvas.TextOut(7500,2500,'Time
[s]');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-
8600,24000,'angle [deg]');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-9000,21000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-8750,21000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-9900,21000,'-
5,0');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-9000,16000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-8750,16000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-9000,11000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-8750,11000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-9900,11000,'-
6,5');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-9000,6000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-8750,6000,'-');
PictureBox1.Canvas.TextOut(-9900,1000,'-
8,0');
end;

```

```

procedure TForm4.PaintBox1Click(Sender:
TObject);
begin
if checkbox1.checked=true then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
gambar(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end;
end;
if checkbox1.checked=false then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);

```

```

Gbr_Skala(Sender);
end
end;

end;

procedure TForm4.PaintBox1Paint(Sender: TObject);
begin
if checkbox1.checked=true then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
gambar(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end;
end;
if checkbox1.checked=false then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
end
end;
end;
end.

```

## Unit interarea\_small;

```

interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes,
  Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TForm2 = class(TForm)
    PaintBox1: TPaintBox;
    CheckBox1: TCheckBox;
    CheckBox2: TCheckBox;
    procedure PaintBox1Paint(Sender: TObject);
    procedure PaintBox1Click(Sender: TObject);
  private
    procedure Gbr_Dasar(Sender: TObject);
    procedure Gbr_Sumbu(Sender: TObject);
    procedure Gbr_Skala(Sender: TObject);
    procedure gambar(Sender: TObject);
    procedure gambar_fuzzy(Sender: TObject);
    procedure Fuzzy(Sender: TObject);
  { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  form2: TForm2;

implementation

{$R *.DFM}

Var
  Kotak      :TRect;

procedure TForm2.Gambar; //case i
type
  ary = array[1..10] of Double;
  jos = array[1..10,1..10] of double;
var
  h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,
  e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,
  teta12,teta23,teta13,xtot :double;
  i,order      :Integer;
  Ke,dx,x      :Ary;
  K            :jos;
begin
  order:=10;
  h:=0.001;t:=0;tf:=44.8;D:=0.1;
  x[1]:=14; x[2]:=0; x[3]:=12.5; x[4]:=0;
  x[5]:=0;
  x[6]:=0; x[7]:=0; x[8]:=0; x[9]:=0;
  x[10]:=0;
  xtot:=1.7;

  e1:=1.00;e2:=1.053;e3:=1.02;
  teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-
  22.62;
  g2:=0.211; g3:=0.166; y12:=0.908;
  y13:=0.792; y23:=0.474;

  Pm:=g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((14-
  teta12)*pi/180)+
  y23*e2*e3*sin((14-12.5-teta23)*pi/180);
  Pm3:=g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((12.5-
  teta13)*pi/180)+
  y23*e2*e3*sin((12.5-14-teta23)*pi/180);
  while t<=tf do
  begin
    tk:=t;
    PaintBox1.Canvas.Pixels[-8800+trunc(400*t),-
    27500+trunc(1900*(x[1]))]:=clRed;
    if t>=0 then
    begin
      teta12:=0; teta13:=0; teta23:=-16.34;
      g2:=0.219; g3:=0.109; xtot:= 15.5; //g2:=0.109
      y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
      end;
    if t>0.08 then
    begin
      teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
      g2:=0.211; g3:=0.166; xtot:= 2.5;
      y12:=0.908; y13:=0.792; y23:=0.474;
      end;

      dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
      dx[2]:=1/2*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
      teta12)*pi/180)+
      y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
      D*x[2]-
      (1.607*xtot+0.752)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
      ((0.448*xtot+0.614)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
      0.332)/7.2*x[6]);

      dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
      dx[4]:=1/2*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
      teta13)*pi/180)+
      y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
      D*x[4]-
      (1.607*xtot+0.752)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
      ((0.448*xtot+0.614)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
      0.332)/7.2*x[4]);

      dx[5]:=x[2];
      dx[6]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
      ((0.19*xtot+0.26)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
      30.776*x[7];

      dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
      66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
      66.67*x[7];

      dx[8]:=x[4];
      dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
      ((0.19*xtot+0.26)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
      30.776*x[10];

      dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
      66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
      6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
      66.67*x[10];
    end;
  end;
end;

```

```

for i:=1 to order do
begin
  Ke[i]:=x[i];
  K[1,i]:=dx[i];
  t:=k+h/2;
  x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/2*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]);
dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]);

for i:=1 to order do
begin
  K[2,i]:=dx[i];
  x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/2*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]);
dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]);

for i:=1 to order do
begin
  K[3,i]:=dx[i];
  t:=k+h;
  x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/2*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]);
dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]);

for i:=1 to order do
begin
  K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K
[4,i]);
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm2.Fuzzy(Sender: TObject);
type
  ere1=array[0..3,0..36] of double;
var
  ua1,ua2,ua3,ua4,ua5,
  s1,s2,s3,s4,
  s,
  ub1,ub2,ub3,ub4,ub5,ub6,ub7,
  bb1,bb2,bb3,bb4,bb5,bb6,bb7,
  ba1,ba2,ba3,ba4,ba5,ba6,ba7,
  bba,teta,tot_m0,tot_m1,tot_m2,
  u_c0,u_c1,u_c2,u,a1,b1,
  sig_uxi0,sig_uxi1,sig_uxi2 :double;
  ux,m0,sig_ux,sig_m0 :ere1;
  i,j,jmlrule,k,l :Integer;

begin
  jmlrule:=35;ux[0,0]:=0;
  ua1:=0;ua2:=0;ua3:=0;ua4:=0;ua5:=0;
  sig_uxi0:=0;sig_uxi1:=0;sig_uxi2:=0;
  tot_m0:=0; tot_m1:=0; tot_m2:=0;
  ub1:=0;ub2:=0;ub3:=0;ub4:=0;ub5:=0;ub6:=0;ub7:=0;

  for j:=0 to 2 do
  for i:=0 to 35 do
  begin
    ux[j,i]:=0;
    m0[j,i]:=0;
    sig_ux[j,i]:=0;
  end;

  //-----uS-----
  if(0<=s) and (s<=1) then
  begin
    ua1:=(-s+1)/s1;
    ua2:=s/s1;
  end;
  if(s1<=s) and (s<=2) then
  begin
    ua2:=(-s+2)/(s2-s1);
    ua3:=(s-s1)/(s2-s1);
  end;
  if(s2<=s) and (s<=3) then
  begin
    ua3:=(-s+3)/(s3-s2);
    ua4:=(s-s2)/(s3-s2);
  end;
  if(s3<=s) and (s<=4) then
  begin
    ua4:=(-s+4)/(s4-s3);
    ua5:=(s-s3)/(s4-s3);
  end;
  if(s4<=s) then
    ua5:=1;

  //-----uB-----
  if teta>360 then teta:=teta-360;
  if(bb1<=teta) and (teta<=(bb1+0.5*(ba1-bb1))) then
    ub1:=2*(teta-bb1)/(ba1-bb1);
  if(bb2<=teta) and (teta<=(bb2+0.5*(ba2-bb2))) then
    ub2:=2*(teta-bb2)/(ba2-bb2);
  if(bb3<=teta) and (teta<=(bb3+0.5*(ba3-bb3))) then
    ub3:=2*(teta-bb3)/(ba3-bb3);
  if(bb4<=teta) and (teta<=(bb4+0.5*(ba4-bb4))) then
    ub4:=2*(teta-bb4)/(ba4-bb4);
  if(bb5<=teta) and (teta<=(bb5+0.5*(ba5-bb5))) then

```

```

ub5:=2*(teta-bb5)/(ba5-bb5);
if(bb6<=teta) and (teta<=(bb6+0.5*(ba6-bb6)))
then
ub6:=2*(teta-bb6)/(ba6-bb6);
if(bb7<=teta) and (teta<=(bb7+0.5*(ba7-bb7)))
then
ub7:=2*(teta-bb7)/(ba7-bb7);
if(bba<=teta) and (teta<=360) then
ub1:=(teta-bba)/(360-bba);

```

```

//-----
if((bb1+0.5*(ba1-bb1))<=teta) and (teta<=ba1)
then
ub1:=2*(-teta+ba1)/(ba1-bb1);
if((bb2+0.5*(ba2-bb2))<=teta) and (teta<=ba2)
then
ub2:=2*(-teta+ba2)/(ba2-bb2);
if((bb3+0.5*(ba3-bb3))<=teta) and (teta<=ba3)
then
ub3:=2*(-teta+ba3)/(ba3-bb3);
if((bb4+0.5*(ba4-bb4))<=teta) and (teta<=ba4)
then
ub4:=2*(-teta+ba4)/(ba4-bb4);
if((bb5+0.5*(ba5-bb5))<=teta) and (teta<=ba5)
then
ub5:=2*(-teta+ba5)/(ba5-bb5);
if((bb6+0.5*(ba6-bb6))<=teta) and (teta<=ba6)
then
ub6:=2*(-teta+ba6)/(ba6-bb6);
if((bb7+0.5*(ba7-bb7))<=teta) and (teta<=ba7)
then
ub7:=2*(-teta+ba7)/(ba7-bb7);

```

```

//-----rule-----
//1

```

```

if((0<=s)and(s<=s1)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((0<=s)and(s<=s1)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin

```

```

ux{0,1}:=ua1*ub1;
ux{1,1}:=0;
ux{2,1}:=0;
m0{0,1}:=1;
m0{1,1}:=0;
m0{2,1}:=0;
end;

```

```
//2
```

```

if((0<=s)and(s<=s2)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1))

```

```

or((0<=s)and(s<=s2)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin

```

```

ux{0,2}:=0;
ux{1,2}:=0;
ux{2,2}:=ua2*ub1;
m0{0,2}:=0;
m0{1,2}:=0;
m0{2,2}:=1;
end;

```

```
//3
```

```

if((s1<=s)and(s<=s3)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or

```

```

((s1<=s)and(s<=s3)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin
ux{0,3}:=0;
ux{1,3}:=0;
ux{2,3}:=ua3*ub1;
m0{0,3}:=0;
m0{1,3}:=0;
m0{2,3}:=1;
end;

```

```
//4
```

```

if((s2<=s)and(s<=s4)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s2<=s)and(s<=s4)and(bba<=teta) and(teta<=360))
then
begin

```

```

ux{0,4}:=0;
ux{1,4}:=0;
ux{2,4}:=ua4*ub1;
m0{0,4}:=0;
m0{1,4}:=0;
m0{2,4}:=1;
end;

```

```
//5
```

```

if((s3<=s)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s3<=s)and(bba<=teta)and (teta<=360)) then
begin

```

```

ux{0,5}:=0;
ux{1,5}:=0;
ux{2,5}:=ua5*ub1;
m0{0,5}:=0;
m0{1,5}:=0;
m0{2,5}:=1;
end;

```

```
//6
```

```

if(0<=s)and(s<=s1)and(bb2<=teta)and(teta<=ba2) then
begin

```

```

ux{0,6}:=ua1*ub2;
ux{1,6}:=0;
ux{2,6}:=0;
m0{0,6}:=1;
m0{1,6}:=0;
m0{2,6}:=0;
end;

```

```
//7
```

```

if(0<=s)and(s<=s2)and(bb2<=teta)and(teta<=ba2)then
begin

```

```

ux{0,7}:=0;
ux{1,7}:=0;
ux{2,7}:=ua2*ub2;
m0{0,7}:=0;
m0{1,7}:=0;
m0{2,7}:=1;
end;

```

```
//8
```

```

if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
begin

```

```

ux{0,8}:=0;
ux{1,8}:=0;
ux{2,8}:=ua3*ub2;
m0{0,8}:=0;
m0{1,8}:=0;
m0{2,8}:=1;
end;

```

```
//9
```

```

if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
begin

```

```

ux{0,9}:=0;

```

```

ux[1,9]:=0;
ux[2,9]:=ua4*ub2;
m0[0,9]:=0;
m0[1,9]:=0;
m0[2,9]:=1;
end;
//10
if(s3<=s) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
begin
ux[0,10]:=0;
ux[1,10]:=ua5*ub2;
ux[2,10]:=0;
m0[0,10]:=0;
m0[1,10]:=1;
m0[2,10]:=0;
end;
//11
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,11]:=ua1*ub3;
ux[1,11]:=0;
ux[2,11]:=0;
m0[0,11]:=1;
m0[1,11]:=0;
m0[2,11]:=0;
end;
//12
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,12]:=0;
ux[1,12]:=0;
ux[2,12]:=ua2*ub3;
m0[0,12]:=0;
m0[1,12]:=0;
m0[2,12]:=1;
end;
//13
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,13]:=0;
ux[1,13]:=0;
ux[2,13]:=ua3*ub3;
m0[0,13]:=0;
m0[1,13]:=0;
m0[2,13]:=1;
end;
//14
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,14]:=0;
ux[1,14]:=ua4*ub3;
ux[2,14]:=0;
m0[0,14]:=0;
m0[1,14]:=1;
m0[2,14]:=0;
end;
//15
if(s3<=s) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,15]:=0;
ux[1,15]:=ua5*ub3;
ux[2,15]:=0;
m0[0,15]:=0;

```

```

m0[1,15]:=1;
m0[2,15]:=0;
end;
//16
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,16]:=ua1*ub4;
ux[1,16]:=0;
ux[2,16]:=0;
m0[0,16]:=1;
m0[1,16]:=0;
m0[2,16]:=0;
end;
//17
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,17]:=0;
ux[1,17]:=0;
ux[2,17]:=ua2*ub4;
m0[0,17]:=0;
m0[1,17]:=0;
m0[2,17]:=1;
end;
//18
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,18]:=0;
ux[1,18]:=ua3*ub4;
ux[2,18]:=0;
m0[0,18]:=0;
m0[1,18]:=1;
m0[2,18]:=0;
end;
//19
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,19]:=0;
ux[1,19]:=ua4*ub4;
ux[2,19]:=0;
m0[0,19]:=0;
m0[1,19]:=1;
m0[2,19]:=0;
end;
//20
if(s3<=s) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4)) then
begin
ux[0,20]:=0;
ux[1,20]:=ua5*ub4;
ux[2,20]:=0;
m0[0,20]:=0;
m0[1,20]:=1;
m0[2,20]:=0;
end;
//21
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb5<=teta) and (teta<=ba5))
then
begin
ux[0,21]:=ua1*ub5;
ux[1,21]:=0;
ux[2,21]:=0;
m0[0,21]:=1;
m0[1,21]:=0;
m0[2,21]:=0;
end;
//22

```

```

if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,22]:=0;
ux[1,22]:=ua2*ub5;
ux[2,22]:=0;
m0[0,22]:=0;
m0[1,22]:=1;
m0[2,22]:=0;
end;
//23
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,23]:=0;
ux[1,23]:=ua3*ub5;
ux[2,23]:=0;
m0[0,23]:=0;
m0[1,23]:=1;
m0[2,23]:=0;
end;
//24
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,24]:=0;
ux[1,24]:=ua4*ub5;
ux[2,24]:=0;
m0[0,24]:=0;
m0[1,24]:=1;
m0[2,24]:=0;
end;
//25
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,25]:=0;
ux[1,25]:=ua5*ub5;
ux[2,25]:=0;
m0[0,25]:=0;
m0[1,25]:=1;
m0[2,25]:=0;
end;
//26
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
begin
ux[0,26]:=ua1*ub6;
ux[1,26]:=0;
ux[2,26]:=0;
m0[0,26]:=1;
m0[1,26]:=0;
m0[2,26]:=0;
end;
//27
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
begin
ux[0,27]:=0;
ux[1,27]:=ua2*ub6;
ux[2,27]:=0;
m0[0,27]:=0;
m0[1,27]:=1;
m0[2,27]:=0;
end;
//28
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
begin
ux[0,28]:=0;
ux[1,28]:=ua3*ub6;
ux[2,28]:=0;
m0[0,28]:=0;
m0[1,28]:=1;
m0[2,28]:=0;
end;
//29
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,29]:=0;
ux[1,29]:=0;
ux[2,29]:=ua4*ub6;
m0[0,29]:=0;
m0[1,29]:=0;
m0[2,29]:=1;
end;
//30
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
begin
ux[0,30]:=0;
ux[1,30]:=0;
ux[2,30]:=ua5*ub6;
m0[0,30]:=0;
m0[1,30]:=0;
m0[2,30]:=1;
end;
//31
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,31]:=ua1*ub7;
ux[1,31]:=0;
ux[2,31]:=0;
m0[0,31]:=1;
m0[1,31]:=0;
m0[2,31]:=0;
end;
//32
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,32]:=0;
ux[1,32]:=0;
ux[2,32]:=ua2*ub7;
m0[0,32]:=0;
m0[1,32]:=0;
m0[2,32]:=1;
end;
//33
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,33]:=0;
ux[1,33]:=0;
ux[2,33]:=ua3*ub7;
m0[0,33]:=0;
m0[1,33]:=0;
m0[2,33]:=1;
end;
//34
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,34]:=0;
ux[1,34]:=0;
ux[2,34]:=ua4*ub7;
m0[0,34]:=0;

```

```

m0[1,34]:=0;
m0[2,34]:=1;
end;
//35
if(s3<=s) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,35]:=0;
ux[1,35]:=0;
ux[2,35]:=ua5*ub7;
m0[0,35]:=0;
m0[1,35]:=0;
m0[2,35]:=1;
end;

//-----membership value for the output C0,1,2-
-----
for i:=0 to 2 do
begin
for j:=1 to jmlrule do
begin
sig_ux[i,j]:=0;
sig_m0[i,j]:=0;
for k:=1 to jmlrule do
sig_ux[i,j]:=sig_ux[i,j]+ux[i,k];
for l:=1 to jmlrule do
sig_m0[i,j]:=sig_m0[i,j]+m0[i,l];
sig_uxi0:=sig_ux[0,j];
sig_uxi1:=sig_ux[1,j];
sig_uxi2:=sig_ux[2,j];

tot_m0:=sig_m0[0,j];
tot_m1:=sig_m0[1,j];
tot_m2:=sig_m0[2,j];
end;
end;

if tot_m0=0 then
begin
tot_m0:=0.00001;
u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
end
else u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
if tot_m1=0 then
begin
tot_m1:=0.00001;
u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;
end
else u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;

if tot_m2=0 then
begin
tot_m2:=0.00001;
u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;
end
else u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;

//-----defuzzification-----
if( u_c0>u_c1) and (u_c0>u_c2) then
begin
u:=u_c0;
end;
if( u_c1>u_c0) and (u_c1>u_c2) then
begin
u:=u_c1;
end;
if( u_c2>u_c0) and (u_c2>u_c1) then
begin

```

```

u:=u_c2;
end;

end;

procedure TForm2.Gambar_fuzzy; //case i
type
ary = array[1..10] of Double;
jos = array[1..10,1..10] of double;
var
h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,
e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,M,
teta12,teta23,teta13,xtot :double;
i,order :Integer;
Ke,dx,x :Ary;
K :jos;
begin
order:=10;
h:=0.001;t:=0;tf:=44.8;D:=1; M:=2;
x[1]:=14; x[2]:=0; x[3]:=12.5; x[4]:=0; x[5]:=0;
x[6]:=0; x[7]:=0; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
xtot:=1.7;

e1:=1.00;e2:=1.053;e3:=1.02;
teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
g2:=0.211; g3:=0.166; y12:=0.908; y13:=0.792;
y23:=0.474;

Pm:=g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((14-teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((14-12.5-teta23)*pi/180);
Pm3:=g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((12.5-teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((12.5-14-teta23)*pi/180);
while t<=tf do
begin
tk:=t;
PaintBox1.Canvas.Pixels[-8800+trunc(400*t),-
27500+trunc(1900*(x[1]))]:=clBlack;
if t>=0 then
begin
teta12:=0; teta13:=0; teta23:=-16.34;
g2:=0.219; g3:=0.109; xtot:= 15.5; //g2:=0.109
y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
end;
if t>0.08 then
begin
teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
g2:=0.211; g3:=0.166; y12:=0.908; y13:=0.792;
y23:=0.474;
end;
if t>0.01 then D:=1.8;
if t>0.5 then D:=1.5;
if t>8 then D:=0.0;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/M*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+

```

```

y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4];

```

```

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=(0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

```

```

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/M*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

```

```

dx[5]:=x[2];

```

```

dx[6]:=(0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

```

```

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/M*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

```

```

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=(0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-

```

```

((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

```

```

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/M*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

```

```

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do
begin

```

```

K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm2.Gbr_Dasar;

```

```

begin
kotak.Left:=10000;
kotak.Right:=10000;
kotak.Top:=40000;
kotak.Bottom:=40000;
SetMapMode(PaintBox1.Canvas.Handle,
MM_ANISOTROPIC);
SetWindowExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
20000,
160000,
nil);
SetViewportExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width,
-PaintBox1.Height,
nil);
SetWindowOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
0,
0,
nil);
SetViewportOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width div 2,
PaintBox1.Height div 2,
nil);
end;

```

```

Procedure TForm2.Gbr_Sumbu;

```

```

begin
PaintBox1.Canvas.Brush.Color:=clWhite;
PaintBox1.Canvas.FillRect(kotak);
PaintBox1.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
PaintBox1.Canvas.Pen.Width := 5;
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,14000); //sb y
PaintBox1.Canvas.LineTo(-8800,-11000);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,-11000); //sb x
PaintBox1.Canvas.LineTo(9600,-11000);
end;

```

```

Procedure TForm2.Gbr_Skala;

```

```

begin
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7000,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7200,-12000,'1.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5200,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5400,-12000,'2.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3400,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3600,-12000,'3.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-1600,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-1800,-12000,'4.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(200,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-0,-12000,'5.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(2000,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(1800,-12000,'6.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(3800,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(3600,-12000,'7.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(5600,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(5400,-12000,'8.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(7400,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(7200,-12000,'9.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(9200,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(9000,-12000,'10');
PaintBox1.Canvas.TextOut(9500,-10000,'>');
PaintBox1.Canvas.TextOut(7500,-8000,'Time [s]');
end;

```

```

    PaintBox1.Canvas.TextOut(-
8600,14000,'angle [deg]');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,11000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,11000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-
9900,11000,'30');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,6000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,6000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-
9900,6000,'22,5');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,1000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,1000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,1000,'15');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-4000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,-4000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9950,-
4000,'7,5');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-9000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,-9000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9950,-9000,'0');

```

```
end;
```

```
procedure TForm2.PaintBox1Paint(Sender:
TObject);
```

```
begin
```

```
if checkbox1.checked=true then
```

```
begin
```

```
if checkbox2.checked=true then
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
Gambar(Sender);
```

```
Gambar_fuzzy(Sender);
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
Gambar_fuzzy(Sender);
```

```
end
```

```
end;
```

```
if checkbox1.checked=false then
```

```
begin
```

```
if checkbox2.checked=true then
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
Gambar(Sender);
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
end
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure TForm2.PaintBox1Click(Sender:
TObject);
```

```
begin
```

```
if checkbox1.checked=true then
```

```
begin
```

```
if checkbox2.checked=true then
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
gambar(Sender);
```

```
Gambar_fuzzy(Sender);
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
Gambar_fuzzy(Sender);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
if checkbox1.checked=false then
```

```
begin
```

```
if checkbox2.checked=true then
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
Gambar(Sender);
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Gbr_Dasar(Sender);
```

```
Gbr_Sumbu(Sender);
```

```
Gbr_Skala(Sender);
```

```
end
```

```
end;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
end.
```

## Unit local area\_large;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes,  
Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
ExtCtrls, StdCtrls;

type

```
TForm7 = class(TForm)
  PaintBox1: TPaintBox;
  CheckBox1: TCheckBox;
  CheckBox2: TCheckBox;
  procedure PaintBox1Click(Sender: TObject);
  procedure PaintBox1Paint(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
  procedure Gbr_Dasar(Sender: TObject);
  Procedure Gbr_Sumbu(Sender: TObject);
  Procedure Gbr_Skala(Sender: TObject);
  procedure Gambar(Sender: TObject);
  procedure Gambar_fuzzy(Sender: TObject);
  procedure Fuzzy(Sender: TObject);
public
  { Public declarations }
end;
```

var

form7: TForm7;

implementation

{SR \*.DFM}

var

Kotak :TRect;

procedure TForm7.Gbr\_Dasar;

begin

```
kotak.Left:=10000;
kotak.Right:=10000;
kotak.Top:=40000;
kotak.Bottom:=40000;
SetMapMode(PaintBox1.Canvas.Handle,
MM_ANISOTROPIC);
SetWindowExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
20000,
160000,
nil);
SetViewPortExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width,
-PaintBox1.Height,
nil);
SetWindowOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
0,
0,
nil);
SetViewPortOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width div 2,
PaintBox1.Height div 2,
nil);
```

end;

Procedure TForm7.Gbr\_Sumbu;

begin

```
PaintBox1.Canvas.Brush.Color:=clWhite;
PaintBox1.Canvas.FillRect(kotak);
```

```
PaintBox1.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
PaintBox1.Canvas.Pen.Width := 5;
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,13000); //sb y
PaintBox1.Canvas.LineTo(-8800,-11000);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,-11000); //sb x
PaintBox1.Canvas.LineTo(9600,-11000);
end;
```

Procedure TForm7.Gbr\_Skala;

begin

```
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7000,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7200,-12000,'1.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5200,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5400,-12000,'2.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3400,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3600,-12000,'3.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-1600,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-1800,-12000,'4.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(200,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-0,-12000,'5.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(2000,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(1800,-12000,'6.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(3800,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(3600,-12000,'7.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(5600,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(5400,-12000,'8.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(7400,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(7200,-12000,'9.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(9200,-10000,'1');
PaintBox1.Canvas.TextOut(9000,-12000,'10');
PaintBox1.Canvas.TextOut(9500,-10000,'>');
PaintBox1.Canvas.TextOut(7500,-8000,'Time [s]');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-8600,13000,'angle
[deg]');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,11000,'-');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,11000,'-');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-9700,11000,'10');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,1000,'-');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,1000,'-');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,1000,'5.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,-10000,'0.0');
```

end;

procedure TForm7.Gambar; //-----faulted-

----

type

```
ary = array[1..6] of Double;
jos = array[1..6,1..6] of double;
var
  h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,
  e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,
  teta12,teta23,teta13 :double;
  i,order :Integer;
  Ke,dx,x :Ary;
  K :jos;
begin
  order:=6;
  h:=0.001;t:=0;tf:=26;D:=0.01;

  x[1]:=16; x[2]:=0; x[3]:=0; x[4]:=13.5; x[5]:=0; x[6]:=0;

  e1:=1.00;e2:=1.15;e3:=1.25;
  teta12:=-22.28; teta13:=-22.47; teta23:=-22.8;
  g2:=0.211; g3:=0.1685; y12:=0.908; y13:=0.793;
  y23:=0.474;
```

```
Pm:=g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-teta23)*pi/180);
```

```

Pm3:=g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[4]-
teta13)*pi/180)+
  y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-teta23)*pi/180);
while t<=tf do
begin
tk:=t;
  PaintBox1.Canvas.Pixels[-
8800+trunc(220*t),trunc(1000*(x[4]-
x[1]))]:=clRed;
  if t>=0 then
  begin
    teta12:=0; teta13:=0; teta23:=-12.31;
    g2:=0.109; g3:=0.090;
    y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
  end;
  if t>0.9 then
  begin
    teta12:=-28.71; teta13:=-25.96; teta23:=-
26.29;
    g2:=0.276; g3:=0.219;
    y12:=0.696; y13:=0.608; y23:=0.545;
  end;

  dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
  dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-
y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)-
  y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-
teta23)*pi/180)-D*x[2]);
  dx[3]:=x[2];

  dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
  dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-
y13*e1*e3*sin((x[4]-teta13)*pi/180)-
  y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-
teta23)*pi/180)-D*x[5]);
  dx[6]:=x[5];

  for i:=1 to order do
  begin
    Ke[i]:=x[i];
    K[1,i]:=dx[i];
    t:=tk+h/2;
    x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
  end;

  dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
  dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-
y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)-
  y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-
teta23)*pi/180)-D*x[2]);
  dx[3]:=x[2];

  dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
  dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-
y13*e1*e3*sin((x[4]-teta13)*pi/180)-
  y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-
teta23)*pi/180)-D*x[5]);
  dx[6]:=x[5];

  for i:=1 to order do
  begin
    K[2,i]:=dx[i];
    x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
  end;

  dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
  dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-
y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)

```

```

  -y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-teta23)*pi/180)-
D*x[2]);
  dx[3]:=x[2];

  dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
  dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-y13*e1*e3*sin((x[4]-
teta13)*pi/180)-
  y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-teta23)*pi/180)-
D*x[5]);
  dx[6]:=x[5];

  for i:=1 to order do
  begin
    K[3,i]:=dx[i];
    t:=tk+h;
    x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
  end;

  dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
  dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)-
  y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-teta23)*pi/180)-
D*x[2]);
  dx[3]:=x[2];

  dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
  dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-y13*e1*e3*sin((x[4]-
teta13)*pi/180)-
  y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-teta23)*pi/180)-
D*x[5]);
  dx[6]:=x[5];

  for i:=1 to order do
  begin
    K[4,i]:=dx[i];
    x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
  end;
end;
end;

procedure TForm7.Fuzzy(Sender: TObject);
type
ere1=array[0..3,0..36] of double;
var
ua1,ua2,ua3,ua4,ua5,
s1,s2,s3,s4,
s,
ub1,ub2,ub3,ub4,ub5,ub6,ub7,
bb1,bb2,bb3,bb4,bb5,bb6,bb7,
ba1,ba2,ba3,ba4,ba5,ba6,ba7,
bba,teta,tot_m0,tot_m1,tot_m2,
u_c0,u_c1,u_c2,ua1,b1,
sig_uxi0,sig_uxi1,sig_uxi2 :double;
ux,m0,sig_ux,sig_m0 :ere1;
i,j,jmlrule,k,l :Integer;

begin
jmlrule:=35;ux[0,0]:=0;
ua1:=0;ua2:=0;ua3:=0;ua4:=0;ua5:=0;
sig_uxi0:=0;sig_uxi1:=0;sig_uxi2:=0;
tot_m0:=0; tot_m1:=0; tot_m2:=0;
ub1:=0;ub2:=0;ub3:=0;ub4:=0;ub5:=0;ub6:=0;ub7:=0;

for j:=0 to 2 do
for i:=0 to 35 do
begin
ux[j,i]:=0;
m0[j,i]:=0;

```

```

sig_ux[j,i]:=0;
end;

//-----uS-----
if(0<=s) and (s<=s1) then
begin
ua1:=(-s+s1)/s1;
ua2:=s/s1;
end;
if(s1<=s) and (s<=s2) then
begin
ua2:=(-s+s2)/(s2-s1);
ua3:=(s-s1)/(s2-s1);
end;
if(s2<=s) and (s<=s3) then
begin
ua3:=(-s+s3)/(s3-s2);
ua4:=(s-s2)/(s3-s2);
end;
if(s3<=s) and (s<=s4) then
begin
ua4:=(-s+s4)/(s4-s3);
ua5:=(s-s3)/(s4-s3);
end;
if(s4<=s) then
ua5:=1;

//-----uB-----
if teta>360 then teta:=teta-360;
if(bb1<=teta) and (teta<=(bb1+0.5*(ba1-bb1)))
then
ub1:=2*(teta-bb1)/(ba1-bb1);
if(bb2<=teta) and (teta<=(bb2+0.5*(ba2-bb2)))
then
ub2:=2*(teta-bb2)/(ba2-bb2);
if(bb3<=teta) and (teta<=(bb3+0.5*(ba3-bb3)))
then
ub3:=2*(teta-bb3)/(ba3-bb3);
if(bb4<=teta) and (teta<=(bb4+0.5*(ba4-bb4)))
then
ub4:=2*(teta-bb4)/(ba4-bb4);
if(bb5<=teta) and (teta<=(bb5+0.5*(ba5-bb5)))
then
ub5:=2*(teta-bb5)/(ba5-bb5);
if(bb6<=teta) and (teta<=(bb6+0.5*(ba6-bb6)))
then
ub6:=2*(teta-bb6)/(ba6-bb6);
if(bb7<=teta) and (teta<=(bb7+0.5*(ba7-bb7)))
then
ub7:=2*(teta-bb7)/(ba7-bb7);
if(bba<=teta) and (teta<=360) then
ub1:=(teta-bba)/(360-bba);

//-----
if((bb1+0.5*(ba1-bb1))<=teta) and (teta<=ba1)
then
ub1:=2*(-teta+ba1)/(ba1-bb1);
if((bb2+0.5*(ba2-bb2))<=teta) and (teta<=ba2)
then
ub2:=2*(-teta+ba2)/(ba2-bb2);
if((bb3+0.5*(ba3-bb3))<=teta) and (teta<=ba3)
then
ub3:=2*(-teta+ba3)/(ba3-bb3);
if((bb4+0.5*(ba4-bb4))<=teta) and (teta<=ba4)
then
ub4:=2*(-teta+ba4)/(ba4-bb4);
if((bb5+0.5*(ba5-bb5))<=teta) and (teta<=ba5)
then
ub5:=2*(-teta+ba5)/(ba5-bb5);
if((bb6+0.5*(ba6-bb6))<=teta) and (teta<=ba6) then
ub6:=2*(-teta+ba6)/(ba6-bb6);
if((bb7+0.5*(ba7-bb7))<=teta) and (teta<=ba7) then
ub7:=2*(-teta+ba7)/(ba7-bb7);

//-----rule-----
//1
if((0<=s)and(s<=s1)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((0<=s)and(s<=s1)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin
ux[0,1]:=ua1*ub1;
ux[1,1]:=0;
ux[2,1]:=0;
m0[0,1]:=1;
m0[1,1]:=0;
m0[2,1]:=0;
end;
//2
if((0<=s)and(s<=s2)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1))
or((0<=s)and(s<=s2)and(bba<=teta)and(teta<=360))
then
begin
ux[0,2]:=0;
ux[1,2]:=0;
ux[2,2]:=ua2*ub1;
m0[0,2]:=0;
m0[1,2]:=0;
m0[2,2]:=1;
end;
//3
if((s1<=s)and(s<=s3)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s1<=s)and(s<=s3)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin
ux[0,3]:=0;
ux[1,3]:=0;
ux[2,3]:=ua3*ub1;
m0[0,3]:=0;
m0[1,3]:=0;
m0[2,3]:=1;
end;
//4
if((s2<=s)and(s<=s4)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s2<=s)and(s<=s4)and(bba<=teta) and(teta<=360))
then
begin
ux[0,4]:=0;
ux[1,4]:=0;
ux[2,4]:=ua4*ub1;
m0[0,4]:=0;
m0[1,4]:=0;
m0[2,4]:=1;
end;
//5
if((s3<=s)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s3<=s)and(bba<=teta)and (teta<=360)) then
begin
ux[0,5]:=0;
ux[1,5]:=0;
ux[2,5]:=ua5*ub1;
m0[0,5]:=0;
m0[1,5]:=0;
m0[2,5]:=1;
end;

```

```

//6
if(0<=s)and(s<=s1)and(bb2<=teta)and(teta<=ba
2) then
begin
ux[0,6]:=ua1*ub2;
ux[1,6]:=0;
ux[2,6]:=0;
m0[0,6]:=1;
m0[1,6]:=0;
m0[2,6]:=0;
end;
//7
if(0<=s)and(s<=s2)and(bb2<=teta)and(teta<=ba
2)then
begin
ux[0,7]:=0;
ux[1,7]:=0;
ux[2,7]:=ua2*ub2;
m0[0,7]:=0;
m0[1,7]:=0;
m0[2,7]:=1;
end;
//8
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb2<=teta) and
(teta<=ba2)) then
begin
ux[0,8]:=0;
ux[1,8]:=0;
ux[2,8]:=ua3*ub2;
m0[0,8]:=0;
m0[1,8]:=0;
m0[2,8]:=1;
end;
//9
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb2<=teta) and
(teta<=ba2)) then
begin
ux[0,9]:=0;
ux[1,9]:=0;
ux[2,9]:=ua4*ub2;
m0[0,9]:=0;
m0[1,9]:=0;
m0[2,9]:=1;
end;
//10
if(s3<=s) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
begin
ux[0,10]:=0;
ux[1,10]:=ua5*ub2;
ux[2,10]:=0;
m0[0,10]:=0;
m0[1,10]:=1;
m0[2,10]:=0;
end;
//11
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,11]:=ua1*ub3;
ux[1,11]:=0;
ux[2,11]:=0;
m0[0,11]:=1;
m0[1,11]:=0;
m0[2,11]:=0;
end;
//12
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then

```

```

begin
ux[0,12]:=0;
ux[1,12]:=0;
ux[2,12]:=ua2*ub3;
m0[0,12]:=0;
m0[1,12]:=0;
m0[2,12]:=1;
end;
//13
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,13]:=0;
ux[1,13]:=0;
ux[2,13]:=ua3*ub3;
m0[0,13]:=0;
m0[1,13]:=0;
m0[2,13]:=1;
end;
//14
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,14]:=0;
ux[1,14]:=ua4*ub3;
ux[2,14]:=0;
m0[0,14]:=0;
m0[1,14]:=1;
m0[2,14]:=0;
end;
//15
if(s3<=s) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3)) then
begin
ux[0,15]:=0;
ux[1,15]:=ua5*ub3;
ux[2,15]:=0;
m0[0,15]:=0;
m0[1,15]:=1;
m0[2,15]:=0;
end;
//16
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,16]:=ua1*ub4;
ux[1,16]:=0;
ux[2,16]:=0;
m0[0,16]:=1;
m0[1,16]:=0;
m0[2,16]:=0;
end;
//17
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,17]:=0;
ux[1,17]:=0;
ux[2,17]:=ua2*ub4;
m0[0,17]:=0;
m0[1,17]:=0;
m0[2,17]:=1;
end;
//18
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,18]:=0;
ux[1,18]:=ua3*ub4;
ux[2,18]:=0;

```

```

m0[0,18]:=0;
m0[1,18]:=1;
m0[2,18]:=0;
end;
//19
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb4<=teta) and
(teta<=ba4)) then
begin
ux[0,19]:=0;
ux[1,19]:=ua4*ub4;
ux[2,19]:=0;
m0[0,19]:=0;
m0[1,19]:=1;
m0[2,19]:=0;
end;
//20
if(s3<=s) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,20]:=0;
ux[1,20]:=ua5*ub4;
ux[2,20]:=0;
m0[0,20]:=0;
m0[1,20]:=1;
m0[2,20]:=0;
end;
//21
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,21]:=ua1*ub5;
ux[1,21]:=0;
ux[2,21]:=0;
m0[0,21]:=1;
m0[1,21]:=0;
m0[2,21]:=0;
end;
//22
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,22]:=0;
ux[1,22]:=ua2*ub5;
ux[2,22]:=0;
m0[0,22]:=0;
m0[1,22]:=1;
m0[2,22]:=0;
end;
//23
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,23]:=0;
ux[1,23]:=ua3*ub5;
ux[2,23]:=0;
m0[0,23]:=0;
m0[1,23]:=1;
m0[2,23]:=0;
end;
//24
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,24]:=0;
ux[1,24]:=ua4*ub5;
ux[2,24]:=0;
m0[0,24]:=0;
m0[1,24]:=1;
m0[2,24]:=0;
end;
end;
//25
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
begin
ux[0,25]:=0;
ux[1,25]:=ua5*ub5;
ux[2,25]:=0;
m0[0,25]:=0;
m0[1,25]:=1;
m0[2,25]:=0;
end;
//26
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,26]:=ua1*ub6;
ux[1,26]:=0;
ux[2,26]:=0;
m0[0,26]:=1;
m0[1,26]:=0;
m0[2,26]:=0;
end;
//27
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,27]:=0;
ux[1,27]:=ua2*ub6;
ux[2,27]:=0;
m0[0,27]:=0;
m0[1,27]:=1;
m0[2,27]:=0;
end;
//28
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,28]:=0;
ux[1,28]:=ua3*ub6;
ux[2,28]:=0;
m0[0,28]:=0;
m0[1,28]:=1;
m0[2,28]:=0;
end;
//29
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,29]:=0;
ux[1,29]:=0;
ux[2,29]:=ua4*ub6;
m0[0,29]:=0;
m0[1,29]:=0;
m0[2,29]:=1;
end;
//30
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
begin
ux[0,30]:=0;
ux[1,30]:=0;
ux[2,30]:=ua5*ub6;
m0[0,30]:=0;
m0[1,30]:=0;
m0[2,30]:=1;
end;
//31
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin

```

```

ux[0,31]:=ua1*ub7;
ux[1,31]:=0;
ux[2,31]:=0;
m0[0,31]:=1;
m0[1,31]:=0;
m0[2,31]:=0;
end;
//32
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,32]:=0;
ux[1,32]:=0;
ux[2,32]:=ua2*ub7;
m0[0,32]:=0;
m0[1,32]:=0;
m0[2,32]:=1;
end;
//33
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,33]:=0;
ux[1,33]:=0;
ux[2,33]:=ua3*ub7;
m0[0,33]:=0;
m0[1,33]:=0;
m0[2,33]:=1;
end;
//34
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,34]:=0;
ux[1,34]:=0;
ux[2,34]:=ua4*ub7;
m0[0,34]:=0;
m0[1,34]:=0;
m0[2,34]:=1;
end;
//35
if(s3<=s) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,35]:=0;
ux[1,35]:=0;
ux[2,35]:=ua5*ub7;
m0[0,35]:=0;
m0[1,35]:=0;
m0[2,35]:=1;
end;

//-----membership value for the output C0,1,2-
-----
for i:=0 to 2 do
begin
for j:=1 to jmlrule do
begin
sig_ux[i,j]:=0;
sig_m0[i,j]:=0;
for k:=1 to jmlrule do
sig_ux[i,j]:=sig_ux[i,j]+ux[i,k];
for l:=1 to jmlrule do
sig_m0[i,j]:=sig_m0[i,j]+m0[i,l];
sig_uxi0:=sig_ux[0,j];
sig_uxi1:=sig_ux[1,j];
sig_uxi2:=sig_ux[2,j];

tot_m0:=sig_m0[0,j];

```

```

tot_m1:=sig_m0[1,j];
tot_m2:=sig_m0[2,j];
end;
end;

if tot_m0=0 then
begin
tot_m0:=0.00001;
u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
end
else u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
if tot_m1=0 then
begin
tot_m1:=0.00001;
u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;
end
else u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;

if tot_m2=0 then
begin
tot_m2:=0.00001;
u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;
end
else u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;

//-----defuzzification-----
if( u_c0>u_c1) and (u_c0>u_c2) then
begin
u:=u_c0;
end;
if( u_c1>u_c0) and (u_c1>u_c2) then
begin
u:=u_c1;
end;
if( u_c2>u_c0) and (u_c2>u_c1) then
begin
u:=u_c2;
end;

end;

procedure TForm7.Gambar_fuzzy; //-----
fuzzzzz---
type
ary = array[1..6] of Double;
jos = array[1..6,1..6] of double;
var
h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,
e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,
teta12,teta23,teta13 :double;
i,order :Integer;
Ke,dx,x :Ary;
K :jos;
begin
order:=6;
h:=0.0005;t:=0;tf:=72;D:=0.01;

x[1]:=16; x[2]:=0; x[3]:=0; x[4]:=13.5; x[5]:=0; x[6]:=0;

e1:=1.00;e2:=1.15;e3:=1.25;
teta12:=22.28; teta13:=22.47; teta23:=22.8;
g2:=0.211; g3:=0.1685; y12:=0.908; y13:=0.793;
y23:=0.474;

Pm:=g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-teta23)*pi/180);
Pm3:=g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[4]-teta13)*pi/180)+

```

```

y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-teta23)*pi/180);
while t<=f do
begin
tk:=t;
PaintBox1.Canvas.Pixels[-
8800+trunc(250*t),trunc(1000*(x[4]-
x[1]))]:=clBlack;
if t>=0 then
begin
teta12:=0; teta13:=0; teta23:=-12.31;
g2:=0.109; g3:=0.090;
y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
end;
if t>0.9 then
begin
teta12:=-22.28; teta13:=-22.47; teta23:=-
22.8;
g2:=0.211; g3:=0.1685; y12:=0.908;
y13:=0.793; y23:=0.474;
end;
if t>15 then d:=1;
dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-
y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-
teta23)*pi/180)-D*x[2]);
dx[3]:=x[2];

dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-
y13*e1*e3*sin((x[4]-teta13)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-
teta23)*pi/180)-D*x[5]);
dx[6]:=x[5];

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-
y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-
teta23)*pi/180)-D*x[2]);
dx[3]:=x[2];

dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-
y13*e1*e3*sin((x[4]-teta13)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-
teta23)*pi/180)-D*x[5]);
dx[6]:=x[5];

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-
y12*e1*e2*sin((x[1]-teta12)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-
teta23)*pi/180)-D*x[2]);
dx[3]:=x[2];

```

```

dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-y13*e1*e3*sin((x[4]-
teta13)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-teta23)*pi/180)-
D*x[5]);
dx[6]:=x[5];

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/8*(Pm-g2*e2*e2-y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[1]-x[4]-teta23)*pi/180)-
D*x[2]);
dx[3]:=x[2];

dx[4]:=377*x[5]; //delta 3
dx[5]:=1/8*(Pm3-g3*e3*e3-y13*e1*e3*sin((x[4]-
teta13)*pi/180)
-y23*e2*e3*sin((x[4]-x[1]-teta23)*pi/180)-
D*x[5]);
dx[6]:=x[5];

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

procedure TForm7.PaintBox1Click(Sender: TObject);
begin
if checkbox1.checked=true then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
gambar(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar_fuzzy(Sender);
end;
end;
if checkbox1.checked=false then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
Gbr_Dasar(Sender);
Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar(Sender);
end
else
begin
Gbr_Dasar(Sender);

```



```

PictureBox1.Canvas.Pixels[-8800+trunc(320*t),-
13000+trunc(5000*(x[1]-x[3]))]:=clRed;
if t>=0 then
begin
teta12:=0; teta13:=0; teta23:=-16.34;
g2:=0.519; g3:=0.109; xtota:= 15.5;
//g2:=0.109
y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
end;
if t>0.08 then
begin
teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-
22.62;
g2:=0.211; g3:=0.1691; xtota:= 200.5;
y12:=0.908; y13:=0.7892; y23:=0.4574;
end;
if t>5 then d:=0.2;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtota+0.752)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtota+0.614)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtota+0.752)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtota+0.614)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtota+0.183)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[5]-
((0.19*xtota+0.26)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

dx[7]:=66.67*(0.266*xtota-0.098)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtota-0.285)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtota+0.183)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[8]-
((0.19*xtota+0.26)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

dx[10]:=66.67*(0.266*xtota-0.098)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtota-0.285)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]-
(1.607*xtota+0.752)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtota+0.614)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
D*x[4]-
(1.607*xtota+0.752)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtota+0.614)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtota+0.183)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[5]-
((0.19*xtota+0.26)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

dx[7]:=66.67*(0.266*xtota-0.098)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtota-0.285)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtota+0.183)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[8]-
((0.19*xtota+0.26)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

dx[10]:=66.67*(0.266*xtota-0.098)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtota-0.285)/(9e-
6+(xtota+1.361)*(xtota+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]-

```

```

(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

```

```

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

```

```

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=K[i]+h*K[3,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

```

```

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-

```

```

(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

```

```

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=K[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm5.Fuzzy(Sender: TObject);
type
ere1=array[0..3,0..36] of double;
var
ua1,ua2,ua3,ua4,ua5,
s1,s2,s3,s4,
s,
ub1,ub2,ub3,ub4,ub5,ub6,ub7,
bb1,bb2,bb3,bb4,bb5,bb6,bb7,
ba1,ba2,ba3,ba4,ba5,ba6,ba7,
bba,teta,tot_m0,tot_m1,tot_m2,
u_c0,u_c1,u_c2,u_a1,b1,
sig_uxi0,sig_uxi1,sig_uxi2 :double;
ux,m0,sig_ux,sig_m0 :ere1;
i,j,jmlrule,k,l :Integer;

```

```

begin
jmlrule:=35;ux[0,0]:=0;
ua1:=0;ua2:=0;ua3:=0;ua4:=0;ua5:=0;
sig_uxi0:=0;sig_uxi1:=0;sig_uxi2:=0;
tot_m0:=0;tot_m1:=0;tot_m2:=0;
ub1:=0;ub2:=0;ub3:=0;ub4:=0;ub5:=0;ub6:=0;ub7:=0;

```

```

for j:=0 to 2 do
for i:=0 to 35 do
begin
ux[j,i]:=0;
m0[j,i]:=0;

```

```

sig_ux[j,i]:=0;
end;

//-----uS-----
if(0<=s) and (s<=s1) then
begin
ua1:=(-s+s1)/s1;
ua2:=s/s1;
end;
if(s1<=s) and (s<=s2) then
begin
ua2:=(-s+s2)/(s2-s1);
ua3:=(s-s1)/(s2-s1);
end;
if(s2<=s) and (s<=s3) then
begin
ua3:=(-s+s3)/(s3-s2);
ua4:=(s-s2)/(s3-s2);
end;
if(s3<=s) and (s<=s4) then
begin
ua4:=(-s+s4)/(s4-s3);
ua5:=(s-s3)/(s4-s3);
end;
if(s4<=s) then
ua5:=1;

//-----uB-----
if teta>360 then teta:=teta-360;
if(bb1<=teta) and (teta<=(bb1+0.5*(ba1-bb1)))
then
ub1:=2*(teta-bb1)/(ba1-bb1);
if(bb2<=teta) and (teta<=(bb2+0.5*(ba2-bb2)))
then
ub2:=2*(teta-bb2)/(ba2-bb2);
if(bb3<=teta) and (teta<=(bb3+0.5*(ba3-bb3)))
then
ub3:=2*(teta-bb3)/(ba3-bb3);
if(bb4<=teta) and (teta<=(bb4+0.5*(ba4-bb4)))
then
ub4:=2*(teta-bb4)/(ba4-bb4);
if(bb5<=teta) and (teta<=(bb5+0.5*(ba5-bb5)))
then
ub5:=2*(teta-bb5)/(ba5-bb5);
if(bb6<=teta) and (teta<=(bb6+0.5*(ba6-bb6)))
then
ub6:=2*(teta-bb6)/(ba6-bb6);
if(bb7<=teta) and (teta<=(bb7+0.5*(ba7-bb7)))
then
ub7:=2*(teta-bb7)/(ba7-bb7);
if(bba<=teta) and (teta<=360) then
ub1:=(teta-bba)/(360-bba);

//-----
if((bb1+0.5*(ba1-bb1))<=teta) and (teta<=ba1)
then
ub1:=2*(-teta+ba1)/(ba1-bb1);
if((bb2+0.5*(ba2-bb2))<=teta) and (teta<=ba2)
then
ub2:=2*(-teta+ba2)/(ba2-bb2);
if((bb3+0.5*(ba3-bb3))<=teta) and (teta<=ba3)
then
ub3:=2*(-teta+ba3)/(ba3-bb3);
if((bb4+0.5*(ba4-bb4))<=teta) and (teta<=ba4)
then
ub4:=2*(-teta+ba4)/(ba4-bb4);
if((bb5+0.5*(ba5-bb5))<=teta) and (teta<=ba5)
then

```

```

ub5:=2*(-teta+ba5)/(ba5-bb5);
if((bb6+0.5*(ba6-bb6))<=teta) and (teta<=ba6) then
ub6:=2*(-teta+ba6)/(ba6-bb6);
if((bb7+0.5*(ba7-bb7))<=teta) and (teta<=ba7) then
ub7:=2*(-teta+ba7)/(ba7-bb7);

//-----rule-----
//1
if((0<=s)and(s<=s1)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((0<=s)and(s<=s1)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin
ux{0,1}:=ua1*ub1;
ux{1,1}:=0;
ux{2,1}:=0;
m0{0,1}:=1;
m0{1,1}:=0;
m0{2,1}:=0;
end;
//2
if((0<=s)and(s<=s2)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((0<=s)and(s<=s2)and(bba<=teta)and(teta<=360))
then
begin
ux{0,2}:=0;
ux{1,2}:=0;
ux{2,2}:=ua2*ub1;
m0{0,2}:=0;
m0{1,2}:=0;
m0{2,2}:=1;
end;
//3
if((s1<=s)and(s<=s3)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s1<=s)and(s<=s3)and(bba<=teta)and(teta<=360)) then
begin
ux{0,3}:=0;
ux{1,3}:=0;
ux{2,3}:=ua3*ub1;
m0{0,3}:=0;
m0{1,3}:=0;
m0{2,3}:=1;
end;
//4
if((s2<=s)and(s<=s4)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s2<=s)and(s<=s4)and(bba<=teta) and(teta<=360))
then
begin
ux{0,4}:=0;
ux{1,4}:=0;
ux{2,4}:=ua4*ub1;
m0{0,4}:=0;
m0{1,4}:=0;
m0{2,4}:=1;
end;
//5
if((s3<=s)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s3<=s)and(bba<=teta)and (teta<=360)) then
begin
ux{0,5}:=0;
ux{1,5}:=0;
ux{2,5}:=ua5*ub1;
m0{0,5}:=0;
m0{1,5}:=0;
m0{2,5}:=1;
end;

```

```

//6
if(0<=s)and(s<=s1)and(bb2<=teta)and(teta<=ba
2) then
begin
ux[0,6]:=ua1*ub2;
ux[1,6]:=0;
ux[2,6]:=0;
m0[0,6]:=1;
m0[1,6]:=0;
m0[2,6]:=0;
end;
//7
if(0<=s)and(s<=s2)and(bb2<=teta)and(teta<=ba
2)then
begin
ux[0,7]:=0;
ux[1,7]:=0;
ux[2,7]:=ua2*ub2;
m0[0,7]:=0;
m0[1,7]:=0;
m0[2,7]:=1;
end;
//8
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb2<=teta) and
(teta<=ba2)) then
begin
ux[0,8]:=0;
ux[1,8]:=0;
ux[2,8]:=ua3*ub2;
m0[0,8]:=0;
m0[1,8]:=0;
m0[2,8]:=1;
end;
//9
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb2<=teta) and
(teta<=ba2)) then
begin
ux[0,9]:=0;
ux[1,9]:=0;
ux[2,9]:=ua4*ub2;
m0[0,9]:=0;
m0[1,9]:=0;
m0[2,9]:=1;
end;
//10
if(s3<=s) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
begin
ux[0,10]:=0;
ux[1,10]:=ua5*ub2;
ux[2,10]:=0;
m0[0,10]:=0;
m0[1,10]:=1;
m0[2,10]:=0;
end;
//11
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,11]:=ua1*ub3;
ux[1,11]:=0;
ux[2,11]:=0;
m0[0,11]:=1;
m0[1,11]:=0;
m0[2,11]:=0;
end;
//12
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then

```

```

begin
ux[0,12]:=0;
ux[1,12]:=0;
ux[2,12]:=ua2*ub3;
m0[0,12]:=0;
m0[1,12]:=0;
m0[2,12]:=1;
end;
//13
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,13]:=0;
ux[1,13]:=0;
ux[2,13]:=ua3*ub3;
m0[0,13]:=0;
m0[1,13]:=0;
m0[2,13]:=1;
end;
//14
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,14]:=0;
ux[1,14]:=ua4*ub3;
ux[2,14]:=0;
m0[0,14]:=0;
m0[1,14]:=1;
m0[2,14]:=0;
end;
//15
if(s3<=s) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3)) then
begin
ux[0,15]:=0;
ux[1,15]:=ua5*ub3;
ux[2,15]:=0;
m0[0,15]:=0;
m0[1,15]:=1;
m0[2,15]:=0;
end;
//16
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,16]:=ua1*ub4;
ux[1,16]:=0;
ux[2,16]:=0;
m0[0,16]:=1;
m0[1,16]:=0;
m0[2,16]:=0;
end;
//17
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,17]:=0;
ux[1,17]:=0;
ux[2,17]:=ua2*ub4;
m0[0,17]:=0;
m0[1,17]:=0;
m0[2,17]:=1;
end;
//18
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,18]:=0;
ux[1,18]:=ua3*ub4;
ux[2,18]:=0;

```

```

m0[0,18]:=0;
m0[1,18]:=1;
m0[2,18]:=0;
end;
//19
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb4<=teta) and
(teta<=ba4)) then
begin
ux[0,19]:=0;
ux[1,19]:=ua4*ub4;
ux[2,19]:=0;
m0[0,19]:=0;
m0[1,19]:=1;
m0[2,19]:=0;
end;
//20
if(s3<=s) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,20]:=0;
ux[1,20]:=ua5*ub4;
ux[2,20]:=0;
m0[0,20]:=0;
m0[1,20]:=1;
m0[2,20]:=0;
end;
//21
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,21]:=ua1*ub5;
ux[1,21]:=0;
ux[2,21]:=0;
m0[0,21]:=1;
m0[1,21]:=0;
m0[2,21]:=0;
end;
//22
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,22]:=0;
ux[1,22]:=ua2*ub5;
ux[2,22]:=0;
m0[0,22]:=0;
m0[1,22]:=1;
m0[2,22]:=0;
end;
//23
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,23]:=0;
ux[1,23]:=ua3*ub5;
ux[2,23]:=0;
m0[0,23]:=0;
m0[1,23]:=1;
m0[2,23]:=0;
end;
//24
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
begin
ux[0,24]:=0;
ux[1,24]:=ua4*ub5;
ux[2,24]:=0;
m0[0,24]:=0;
m0[1,24]:=1;
m0[2,24]:=0;
end;
end;
//25
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
begin
ux[0,25]:=0;
ux[1,25]:=ua5*ub5;
ux[2,25]:=0;
m0[0,25]:=0;
m0[1,25]:=1;
m0[2,25]:=0;
end;
//26
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,26]:=ua1*ub6;
ux[1,26]:=0;
ux[2,26]:=0;
m0[0,26]:=1;
m0[1,26]:=0;
m0[2,26]:=0;
end;
//27
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,27]:=0;
ux[1,27]:=ua2*ub6;
ux[2,27]:=0;
m0[0,27]:=0;
m0[1,27]:=1;
m0[2,27]:=0;
end;
//28
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,28]:=0;
ux[1,28]:=ua3*ub6;
ux[2,28]:=0;
m0[0,28]:=0;
m0[1,28]:=1;
m0[2,28]:=0;
end;
//29
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
begin
ux[0,29]:=0;
ux[1,29]:=0;
ux[2,29]:=ua4*ub6;
m0[0,29]:=0;
m0[1,29]:=0;
m0[2,29]:=1;
end;
//30
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
begin
ux[0,30]:=0;
ux[1,30]:=0;
ux[2,30]:=ua5*ub6;
m0[0,30]:=0;
m0[1,30]:=0;
m0[2,30]:=1;
end;
//31
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin

```

```

ux[0,31]:=ua1*ub7;
ux[1,31]:=0;
ux[2,31]:=0;
m0[0,31]:=1;
m0[1,31]:=0;
m0[2,31]:=0;
end;
//32
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,32]:=0;
ux[1,32]:=0;
ux[2,32]:=ua2*ub7;
m0[0,32]:=0;
m0[1,32]:=0;
m0[2,32]:=1;
end;
//33
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,33]:=0;
ux[1,33]:=0;
ux[2,33]:=ua3*ub7;
m0[0,33]:=0;
m0[1,33]:=0;
m0[2,33]:=1;
end;
//34
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb7<=teta) and
(teta<=ba7)) then
begin
ux[0,34]:=0;
ux[1,34]:=0;
ux[2,34]:=ua4*ub7;
m0[0,34]:=0;
m0[1,34]:=0;
m0[2,34]:=1;
end;
//35
if(s3<=s) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
begin
ux[0,35]:=0;
ux[1,35]:=0;
ux[2,35]:=ua5*ub7;
m0[0,35]:=0;
m0[1,35]:=0;
m0[2,35]:=1;
end;
//-----membership value for the output C0,1,2-
-----
for i:=0 to 2 do
begin
for j:=1 to jmlrule do
begin
sig_ux[i,j]:=0;
sig_m0[i,j]:=0;
for k:=1 to jmlrule do
sig_ux[i,j]:=sig_ux[i,j]+ux[i,k];
for l:=1 to jmlrule do
sig_m0[i,j]:=sig_m0[i,j]+m0[i,l];
sig_uxi0:=sig_ux[0,j];
sig_uxi1:=sig_ux[1,j];
sig_uxi2:=sig_ux[2,j];

tot_m0:=sig_m0[0,j];

```

```

tot_m1:=sig_m0[1,j];
tot_m2:=sig_m0[2,j];
end;
end;

if tot_m0=0 then
begin
tot_m0:=0.00001;
u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
end
else u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
if tot_m1=0 then
begin
tot_m1:=0.00001;
u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;
end
else u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;

if tot_m2=0 then
begin
tot_m2:=0.00001;
u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;
end
else u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;

//-----defuzzification-----
if (u_c0>u_c1) and (u_c0>u_c2 ) then
begin
u:=u_c0;
end;
if (u_c1>u_c0) and (u_c1>u_c2 ) then
begin
u:=u_c1;
end;
if (u_c2>u_c0) and (u_c2>u_c1 ) then
begin
u:=u_c2;
end;

end;

procedure TForm5.Gambar_fuzzy; //case i
type
ary = array[1..10] of Double;
jos = array[1..10,1..10] of double;
var
h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,
e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,M,
teta12,teta23,teta13,xtot :double;
i,order :Integer;
Ke,dx,x :Ary;
K :jos;
begin
order:=10;
h:=0.0007;t:=0;tf:=60;D:=5;M:=1.5;
x[1]:=15; x[2]:=0; x[3]:=12.5; x[4]:=0; x[5]:=0;
x[6]:=0; x[7]:=0; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
xtot:=1.7;

e1:=1.00;e2:=1.053;e3:=1.02;
teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
g2:=0.211; g3:=0.166; y12:=0.908; y13:=0.792;
y23:=0.474;

Pm:=g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((16-teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((16-13.5-teta23)*pi/180);
Pm3:=g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((13.5-teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((13.5-16-teta23)*pi/180);

```

```

while t<=tf do
begin
tk:=t;
PaintBox1.Canvas.Pixels[-8800+trunc(300*t),-
15500+trunc(6000*(x[1]-x[3]))]:=clBlack;
if t>=0 then
begin
teta12:=0; teta13:=0; teta23:=16.34;
g2:=0.519; g3:=0.109; xtot:= 15.5;
//g2:=0.109
y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
end;
if t>0.08 then
begin
teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-
22.62;
g2:=0.211; g3:=0.1691; xtot:= 200.5;
y12:=0.908; y13:=0.792; y23:=0.474;
end;
if t>0.1 then D:=0.5;
if t>10.5 then
begin
g2:=0.213;
D:=0.1;
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-

```

```

30.776*x[10];

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

for i:=1 to order do
begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

for i:=1 to order do
begin
K[2,i]:=dx[i];

```

```

x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

for i:=1 to order do
begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

procedure TForm5.Gbr_Dasar;
begin
kotak.Left:=10000;
kotak.Right:=10000;
kotak.Top:=40000;
kotak.Bottom:=40000;
SetMapMode(PaintBox1.Canvas.Handle,
MM_ANISOTROPIC);
SetWindowExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
20000,
160000,
nil);
SetViewPortExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width,
-PaintBox1.Height,
nil);
SetWindowOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
0,
0,
nil);

```

```

SetViewportOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
    PaintBox1.Width div 2,
    PaintBox1.Height div 2,
    nil);
end;

Procedure TForm5.Gbr_Sumbu;
begin
    PaintBox1.Canvas.Brush.Color:=clWhite;
    PaintBox1.Canvas.FillRect(kotak);
    PaintBox1.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
    PaintBox1.Canvas.Pen.Width := 5;
    PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,13000);
//sb y
    PaintBox1.Canvas.LineTo(-8800,-11000);
    PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,-11000);
//sb x
    PaintBox1.Canvas.LineTo(9600,-11000);
end;

Procedure TForm5.Gbr_Skala;
begin
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-7000,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-7200,-
12000,'1.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-5200,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-5400,-
12000,'2.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-3400,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-3600,-
12000,'3.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-1600,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-1800,-
12000,'4.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(200,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-0,-12000,'5.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(2000,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(1800,-
12000,'6.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(3800,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(3600,-
12000,'7.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(5600,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(5400,-
12000,'8.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(7400,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(7200,-
12000,'9.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(9200,-10000,'1');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(9000,-
12000,'10');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(9500,-10000,'>');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(7500,-8000,'Time
[s]');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-
8600,13000,'angle [deg]');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,11000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,11000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9500,11000,'2');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,6000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,6000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9500,6000,'');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,1000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,1000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9600,1000,'1,5');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-4000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,-4000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9550,-4000,'');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-9000,'-');

```

```

    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,-9000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9550,-9000,'1');
end;

procedure TForm5.PaintBox1Click(Sender: TObject);
begin
    if checkbox1.checked=true then
    begin
        if checkbox2.checked=true then
        begin
            Gbr_Dasar(Sender);
            Gbr_Sumbu(Sender);
            Gbr_Skala(Sender);
            gambar(Sender);
            Gambar_fuzzy(Sender);
        end
        else
        begin
            Gbr_Dasar(Sender);
            Gbr_Sumbu(Sender);
            Gbr_Skala(Sender);
            Gambar_fuzzy(Sender);
        end;
    end;
    if checkbox1.checked=false then
    begin
        if checkbox2.checked=true then
        begin
            Gbr_Dasar(Sender);
            Gbr_Sumbu(Sender);
            Gbr_Skala(Sender);
            Gambar(Sender);
        end
        else
        begin
            Gbr_Dasar(Sender);
            Gbr_Sumbu(Sender);
            Gbr_Skala(Sender);
        end
    end;
end;

procedure TForm5.PaintBox1Paint(Sender: TObject);
begin
    if checkbox1.checked=true then
    begin
        if checkbox2.checked=true then
        begin
            Gbr_Dasar(Sender);
            Gbr_Sumbu(Sender);
            Gbr_Skala(Sender);
            gambar(Sender);
            Gambar_fuzzy(Sender);
        end
        else
        begin
            Gbr_Dasar(Sender);
            Gbr_Sumbu(Sender);
            Gbr_Skala(Sender);
            Gambar_fuzzy(Sender)
        end;
    end;
    if checkbox1.checked=false then
    begin
        if checkbox2.checked=true then
        begin
            Gbr_Dasar(Sender);

```

```

Gbr_Sumbu(Sender);
Gbr_Skala(Sender);
Gambar(Sender);
end
else
begin
  Gbr_Dasar(Sender);
  Gbr_Sumbu(Sender);
  Gbr_Skala(Sender);
end
end;

end;

end.

```

## Unit localarea\_small;

```

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes,
  Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TForm3 = class(TForm)
    PaintBox1: TPaintBox;
    CheckBox1: TCheckBox;
    CheckBox2: TCheckBox;
    procedure PaintBox1Paint(Sender: TObject);
    procedure PaintBox1Click(Sender: TObject);
  private
    procedure Fuzzy(Sender: TObject);
    procedure Gbr_Dasar(Sender: TObject);
    procedure Gbr_Sumbu(Sender: TObject);
    procedure Gbr_Skala(Sender: TObject);
    procedure gambar_fuzzy(Sender: TObject);
  public
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  form3: TForm3;

implementation

{$R *.DFM}

Var
  Kotak :TRect;

procedure TForm3.Gambar_fuzzy; //case i
type
  ary = array[1..10] of Double;
  jos = array[1..10,1..10] of double;
var
  h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,
  e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,M,
  teta12,teta23,teta13,xtot :double;
  i,order :Integer;
  Ke,dx,x :Ary;

```

```

K :jos;
begin
  order:=10;
  h:=0.001;t:=0;tf:=51;D:=5;M:=1.5;
  x[1]:=15; x[2]:=0; x[3]:=12.5; x[4]:=0; x[5]:=0;
  x[6]:=0; x[7]:=0; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
  xtot:=1.7;

  e1:=1.00;e2:=1.053;e3:=1.02;
  teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
  g2:=0.211; g3:=0.166; y12:=0.908; y13:=0.792;
  y23:=0.474;

  Pm:=g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((16-teta12)*pi/180)+
  y23*e2*e3*sin((16-13.5-teta23)*pi/180);
  Pm3:=g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((13.5-teta13)*pi/180)+
  y23*e2*e3*sin((13.5-16-teta23)*pi/180);
  while t<=tf do
  begin
    tk:=t;
    PaintBox1.Canvas.Pixels[-
    8800+trunc(350*t),13000+trunc(6000*(x[3]-
    x[1]))]:=clBlack;
    if t>=0 then
    begin
      teta12:=0; teta13:=0; teta23:=-16.34;
      g2:=0.4509; g3:=0.109; xtot:= 15.5; //g2:=0.109
      y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
      end;
    if t>0.08 then
    begin
      teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
      g2:=0.211; g3:=0.166; xtot:= 200.5;
      y12:=0.908; y13:=0.792; y23:=0.474;
      end;
    if t>0.1 then D:=1.5;
    if t>0.5 then D:=0.2;

    dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
    dx[2]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
    teta12)*pi/180)+
    y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
    D*x[2]-
    (1.607*xtot+0.752)/(9e-
    6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
    ((0.448*xtot+0.614)/(9e-
    6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
    0.332)/7.2*x[6];

    dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
    dx[4]:=1/2*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
    teta13)*pi/180)+
    y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
    D*x[4]-
    (1.607*xtot+0.752)/(9e-
    6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
    ((0.448*xtot+0.614)/(9e-
    6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
    0.332)/7.2*x[4];

    dx[5]:=x[2];
    dx[6]:=-(0.135*xtot+0.183)/(9e-
    6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
    ((0.19*xtot+0.26)/(9e-
    6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
    30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do

```

```

begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

```

```

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

```

```

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-

```

```

((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do

```

```

begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

```

```

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

```

```

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*(-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do

```

```

begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];

```

```

end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/M*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K
[4,i]);
end;
end;
end;

procedure TForm3.Fuzzy(Sender: TObject);
type
ere1=array[0..3,0..36] of double;
var
ua1,ua2,ua3,ua4,ua5,
s1,s2,s3,s4,
s,

```

```

ub1,ub2,ub3,ub4,ub5,ub6,ub7,
bb1,bb2,bb3,bb4,bb5,bb6,bb7,
ba1,ba2,ba3,ba4,ba5,ba6,ba7,
bba,teta,tot_m0,tot_m1,tot_m2,
u_c0,u_c1,u_c2,u_a1,b1,
sig_uxi0,sig_uxi1,sig_uxi2 :double;
ux,m0,sig_ux,sig_m0 :ere1;
i,j,jmlrule,k,l :Integer;

begin

jmlrule:=35;ux{0,0}:=0;
ua1:=0;ua2:=0;ua3:=0;ua4:=0;ua5:=0;
sig_uxi0:=0;sig_uxi1:=0;sig_uxi2:=0;
tot_m0:=0; tot_m1:=0; tot_m2:=0;
ub1:=0;ub2:=0;ub3:=0;ub4:=0;ub5:=0;ub6:=0;ub7:=0;

for j:=0 to 2 do
for i:=0 to 35 do
begin
ux[j,i]:=0;
m0[j,i]:=0;
sig_ux[j,i]:=0;
end;

//-----uS-----
if(0<=s) and (s<=s1) then
begin
ua1:=(-s+s1)/s1;
ua2:=s/s1;
end;
if(s1<=s) and (s<=s2) then
begin
ua2:=(-s+s2)/(s2-s1);
ua3:=(s-s1)/(s2-s1);
end;
if(s2<=s) and (s<=s3) then
begin
ua3:=(-s+s3)/(s3-s2);
ua4:=(s-s2)/(s3-s2);
end;
if(s3<=s) and (s<=s4) then
begin
ua4:=(-s+s4)/(s4-s3);
ua5:=(s-s3)/(s4-s3);
end;
if(s4<=s) then
ua5:=1;

//-----uB-----
if teta>360 then teta:=teta-360;
if(bb1<=teta) and (teta<=(bb1+0.5*(ba1-bb1))) then
ub1:=2*(teta-bb1)/(ba1-bb1);
if(bb2<=teta) and (teta<=(bb2+0.5*(ba2-bb2))) then
ub2:=2*(teta-bb2)/(ba2-bb2);
if(bb3<=teta) and (teta<=(bb3+0.5*(ba3-bb3))) then
ub3:=2*(teta-bb3)/(ba3-bb3);
if(bb4<=teta) and (teta<=(bb4+0.5*(ba4-bb4))) then
ub4:=2*(teta-bb4)/(ba4-bb4);
if(bb5<=teta) and (teta<=(bb5+0.5*(ba5-bb5))) then
ub5:=2*(teta-bb5)/(ba5-bb5);
if(bb6<=teta) and (teta<=(bb6+0.5*(ba6-bb6))) then
ub6:=2*(teta-bb6)/(ba6-bb6);
if(bb7<=teta) and (teta<=(bb7+0.5*(ba7-bb7))) then
ub7:=2*(teta-bb7)/(ba7-bb7);
if(bba<=teta) and (teta<=360) then
ub1:=(teta-bba)/(360-bba);

```

```

//-----
if((bb1+0.5*(ba1-bb1))<=teta) and (teta<=ba1)
then
  ub1:=2*(-teta+ba1)/(ba1-bb1);
if((bb2+0.5*(ba2-bb2))<=teta) and (teta<=ba2)
then
  ub2:=2*(-teta+ba2)/(ba2-bb2);
if((bb3+0.5*(ba3-bb3))<=teta) and (teta<=ba3)
then
  ub3:=2*(-teta+ba3)/(ba3-bb3);
if((bb4+0.5*(ba4-bb4))<=teta) and (teta<=ba4)
then
  ub4:=2*(-teta+ba4)/(ba4-bb4);
if((bb5+0.5*(ba5-bb5))<=teta) and (teta<=ba5)
then
  ub5:=2*(-teta+ba5)/(ba5-bb5);
if((bb6+0.5*(ba6-bb6))<=teta) and (teta<=ba6)
then
  ub6:=2*(-teta+ba6)/(ba6-bb6);
if((bb7+0.5*(ba7-bb7))<=teta) and (teta<=ba7)
then
  ub7:=2*(-teta+ba7)/(ba7-bb7);

//-----rule-----
//1

if((0<=s)and(s<=s1)and(bb1<=teta)and(teta<=b
a1)) or
((0<=s)and(s<=s1)and(bba<=teta)and(teta<=360
)) then
  begin
    ux[0,1]:=ua1*ub1;
    ux[1,1]:=0;
    ux[2,1]:=0;
    m0[0,1]:=1;
    m0[1,1]:=0;
    m0[2,1]:=0;
  end;
//2

if((0<=s)and(s<=s2)and(bb1<=teta)and(teta<=b
a1))

or((0<=s)and(s<=s2)and(bba<=teta)and(teta<=3
60)) then
  begin
    ux[0,2]:=0;
    ux[1,2]:=0;
    ux[2,2]:=ua2*ub1;
    m0[0,2]:=0;
    m0[1,2]:=0;
    m0[2,2]:=1;
  end;
//3

if((s1<=s)and(s<=s3)and(bb1<=teta)and(teta<=b
a1)) or
((s1<=s)and(s<=s3)and(bba<=teta)and(teta<=36
0)) then
  begin
    ux[0,3]:=0;
    ux[1,3]:=0;
    ux[2,3]:=ua3*ub1;
    m0[0,3]:=0;
    m0[1,3]:=0;
    m0[2,3]:=1;
  end;

```

```

//4
if((s2<=s)and(s<=s4)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s2<=s)and(s<=s4)and(bba<=teta) and(teta<=360))
then
  begin
    ux[0,4]:=0;
    ux[1,4]:=0;
    ux[2,4]:=ua4*ub1;
    m0[0,4]:=0;
    m0[1,4]:=0;
    m0[2,4]:=1;
  end;
//5
if((s3<=s)and(bb1<=teta)and(teta<=ba1)) or
((s3<=s)and(bba<=teta)and (teta<=360)) then
  begin
    ux[0,5]:=0;
    ux[1,5]:=0;
    ux[2,5]:=ua5*ub1;
    m0[0,5]:=0;
    m0[1,5]:=0;
    m0[2,5]:=1;
  end;
//6
if(0<=s)and(s<=s1)and(bb2<=teta)and(teta<=ba2) then
  begin
    ux[0,6]:=ua1*ub2;
    ux[1,6]:=0;
    ux[2,6]:=0;
    m0[0,6]:=1;
    m0[1,6]:=0;
    m0[2,6]:=0;
  end;
//7
if(0<=s)and(s<=s2)and(bb2<=teta)and(teta<=ba2)then
  begin
    ux[0,7]:=0;
    ux[1,7]:=0;
    ux[2,7]:=ua2*ub2;
    m0[0,7]:=0;
    m0[1,7]:=0;
    m0[2,7]:=1;
  end;
//8
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
  begin
    ux[0,8]:=0;
    ux[1,8]:=0;
    ux[2,8]:=ua3*ub2;
    m0[0,8]:=0;
    m0[1,8]:=0;
    m0[2,8]:=1;
  end;
//9
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2))
then
  begin
    ux[0,9]:=0;
    ux[1,9]:=0;
    ux[2,9]:=ua4*ub2;
    m0[0,9]:=0;
    m0[1,9]:=0;
    m0[2,9]:=1;
  end;
//10
if(s3<=s) and ((bb2<=teta) and (teta<=ba2)) then
  begin
    ux[0,10]:=0;

```

```

ux[1,10]:=ua5*ub2;
ux[2,10]:=0;
m0[0,10]:=0;
m0[1,10]:=1;
m0[2,10]:=0;
end;
//11
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,11]:=ua1*ub3;
ux[1,11]:=0;
ux[2,11]:=0;
m0[0,11]:=1;
m0[1,11]:=0;
m0[2,11]:=0;
end;
//12
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,12]:=0;
ux[1,12]:=0;
ux[2,12]:=ua2*ub3;
m0[0,12]:=0;
m0[1,12]:=0;
m0[2,12]:=1;
end;
//13
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,13]:=0;
ux[1,13]:=0;
ux[2,13]:=ua3*ub3;
m0[0,13]:=0;
m0[1,13]:=0;
m0[2,13]:=1;
end;
//14
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb3<=teta) and
(teta<=ba3)) then
begin
ux[0,14]:=0;
ux[1,14]:=ua4*ub3;
ux[2,14]:=0;
m0[0,14]:=0;
m0[1,14]:=1;
m0[2,14]:=0;
end;
//15
if(s3<=s) and ((bb3<=teta) and (teta<=ba3))
then
begin
ux[0,15]:=0;
ux[1,15]:=ua5*ub3;
ux[2,15]:=0;
m0[0,15]:=0;
m0[1,15]:=1;
m0[2,15]:=0;
end;
//16
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb4<=teta) and
(teta<=ba4)) then
begin
ux[0,16]:=ua1*ub4;
ux[1,16]:=0;
ux[2,16]:=0;
m0[0,16]:=1;

```

```

m0[1,16]:=0;
m0[2,16]:=0;
end;
//17
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,17]:=0;
ux[1,17]:=0;
ux[2,17]:=ua2*ub4;
m0[0,17]:=0;
m0[1,17]:=0;
m0[2,17]:=1;
end;
//18
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,18]:=0;
ux[1,18]:=ua3*ub4;
ux[2,18]:=0;
m0[0,18]:=0;
m0[1,18]:=1;
m0[2,18]:=0;
end;
//19
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4))
then
begin
ux[0,19]:=0;
ux[1,19]:=ua4*ub4;
ux[2,19]:=0;
m0[0,19]:=0;
m0[1,19]:=1;
m0[2,19]:=0;
end;
//20
if(s3<=s) and ((bb4<=teta) and (teta<=ba4)) then
begin
ux[0,20]:=0;
ux[1,20]:=ua5*ub4;
ux[2,20]:=0;
m0[0,20]:=0;
m0[1,20]:=1;
m0[2,20]:=0;
end;
//21
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb5<=teta) and (teta<=ba5))
then
begin
ux[0,21]:=ua1*ub5;
ux[1,21]:=0;
ux[2,21]:=0;
m0[0,21]:=1;
m0[1,21]:=0;
m0[2,21]:=0;
end;
//22
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb5<=teta) and (teta<=ba5))
then
begin
ux[0,22]:=0;
ux[1,22]:=ua2*ub5;
ux[2,22]:=0;
m0[0,22]:=0;
m0[1,22]:=1;
m0[2,22]:=0;
end;
//23

```

```
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
```

```
begin
ux[0,23]:=0;
ux[1,23]:=ua3*ub5;
ux[2,23]:=0;
m0[0,23]:=0;
m0[1,23]:=1;
m0[2,23]:=0;
end;
```

```
//24
```

```
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb5<=teta) and
(teta<=ba5)) then
```

```
begin
ux[0,24]:=0;
ux[1,24]:=ua4*ub5;
ux[2,24]:=0;
m0[0,24]:=0;
m0[1,24]:=1;
m0[2,24]:=0;
end;
```

```
//25
```

```
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6))
then
```

```
begin
ux[0,25]:=0;
ux[1,25]:=ua5*ub5;
ux[2,25]:=0;
m0[0,25]:=0;
m0[1,25]:=1;
m0[2,25]:=0;
end;
```

```
//26
```

```
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
```

```
begin
ux[0,26]:=ua1*ub6;
ux[1,26]:=0;
ux[2,26]:=0;
m0[0,26]:=1;
m0[1,26]:=0;
m0[2,26]:=0;
end;
```

```
//27
```

```
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
```

```
begin
ux[0,27]:=0;
ux[1,27]:=ua2*ub6;
ux[2,27]:=0;
m0[0,27]:=0;
m0[1,27]:=1;
m0[2,27]:=0;
end;
```

```
//28
```

```
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
```

```
begin
ux[0,28]:=0;
ux[1,28]:=ua3*ub6;
ux[2,28]:=0;
m0[0,28]:=0;
m0[1,28]:=1;
m0[2,28]:=0;
end;
```

```
//29
```

```
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb6<=teta) and
(teta<=ba6)) then
```

```
begin
```

```
ux[0,29]:=0;
ux[1,29]:=0;
ux[2,29]:=ua4*ub6;
m0[0,29]:=0;
m0[1,29]:=0;
m0[2,29]:=1;
end;
```

```
//30
```

```
if(s3<=s) and ((bb6<=teta) and (teta<=ba6)) then
```

```
begin
ux[0,30]:=0;
ux[1,30]:=0;
ux[2,30]:=ua5*ub6;
m0[0,30]:=0;
m0[1,30]:=0;
m0[2,30]:=1;
end;
```

```
//31
```

```
if(0<=s) and (s<=s1) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
```

```
begin
ux[0,31]:=ua1*ub7;
ux[1,31]:=0;
ux[2,31]:=0;
m0[0,31]:=1;
m0[1,31]:=0;
m0[2,31]:=0;
end;
```

```
//32
```

```
if(0<=s) and (s<=s2) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
```

```
begin
ux[0,32]:=0;
ux[1,32]:=0;
ux[2,32]:=ua2*ub7;
m0[0,32]:=0;
m0[1,32]:=0;
m0[2,32]:=1;
end;
```

```
//33
```

```
if(s1<=s) and (s<=s3) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
```

```
begin
ux[0,33]:=0;
ux[1,33]:=0;
ux[2,33]:=ua3*ub7;
m0[0,33]:=0;
m0[1,33]:=0;
m0[2,33]:=1;
end;
```

```
//34
```

```
if(s2<=s) and (s<=s4) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7))
then
```

```
begin
ux[0,34]:=0;
ux[1,34]:=0;
ux[2,34]:=ua4*ub7;
m0[0,34]:=0;
m0[1,34]:=0;
m0[2,34]:=1;
end;
```

```
//35
```

```
if(s3<=s) and ((bb7<=teta) and (teta<=ba7)) then
```

```
begin
ux[0,35]:=0;
ux[1,35]:=0;
ux[2,35]:=ua5*ub7;
m0[0,35]:=0;
m0[1,35]:=0;
```

```

m0[2,35]:=1;
end;

//-----membership value for the output C0,1,2-
-----
for i:=0 to 2 do
begin
for j:=1 to jmlrule do
begin
sig_ux[i,j]:=0;
sig_m0[i,j]:=0;
for k:=1 to jmlrule do
sig_ux[i,j]:=sig_ux[i,j]+ux[i,k];
for l:=1 to jmlrule do
sig_m0[i,j]:=sig_m0[i,j]+m0[i,l];
sig_uxi0:=sig_ux[0,j];
sig_uxi1:=sig_ux[1,j];
sig_uxi2:=sig_ux[2,j];

tot_m0:=sig_m0[0,j];
tot_m1:=sig_m0[1,j];
tot_m2:=sig_m0[2,j];
end;
end;

if tot_m0=0 then
begin
tot_m0:=0.00001;
u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
end
else u_c0:=sig_uxi0/tot_m0;
if tot_m1=0 then
begin
tot_m1:=0.00001;
u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;
end
else u_c1:=sig_uxi1/tot_m1;

if tot_m2=0 then
begin
tot_m2:=0.00001;
u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;
end
else u_c2:=sig_uxi2/tot_m2;

//-----defuzzification-----
if( u_c0>u_c1) and (u_c0>u_c2 ) then
begin
u:=u_c0;
end;
if( u_c1>u_c0) and (u_c1>u_c2 ) then
begin
u:=u_c1;
end;
if( u_c2>u_c0) and (u_c2>u_c1 ) then
begin
u:=u_c2;
end;

end;

procedure TForm3.Gambar; //case i
type
ary = array[1..10] of Double;
jos = array[1..10,1..10] of double;
var
h,t,tk,tf,Pm,Pm3,g2,g3,

```

```

e1,e2,e3,D,y12,y13,y23,
teta12,teta23,teta13,xtot :double;
i,order :Integer;
Ke,dx,x :Ary;
K :jos;
begin
order:=10;
h:=0.0008;t:=0;tf:=35.8;D:=0.16;
x[1]:=16; x[2]:=0; x[3]:=13.5; x[4]:=0; x[5]:=0;
x[6]:=0; x[7]:=0; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
xtot:=1.7;

e1:=1.00;e2:=1.053;e3:=1.02;
teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
g2:=0.211; g3:=0.166; y12:=0.908; y13:=0.792;
y23:=0.474;

Pm:=g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((16-teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((16-13.5-teta23)*pi/180);
Pm3:=g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((13.5-teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((13.5-16-teta23)*pi/180);
while t<=tf do
begin
tk:=t;
PictureBox1.Canvas.Pixels[-8800+trunc(500*t),-
17000+trunc(6000*(x[1]-x[3]))]:=clRed;
if t>=0 then
begin
teta12:=0; teta13:=0; teta23:=-16.34;
g2:=0.159; g3:=0.109; xtot:= 15.5; //g2:=0.109
y12:=0; y13:=0; y23:=0.338;
end;
if t>0.08 then
begin
teta12:=-22.22; teta13:=-22.29; teta23:=-22.62;
g2:=0.211; g3:=0.166; xtot:= 2.5;
y12:=0.908; y13:=0.792; y23:=0.474;
end;

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/2*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[5]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[6]);

dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
D*x[4]-
(1.607*xtot+0.752)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))/7.2*x[2]-
((0.448*xtot+0.614)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+
0.332)/7.2*x[4]);

dx[5]:=x[2];
dx[6]:=(0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[6]-
30.776*x[7];

```

```

dx[7]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[5]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[6]-
66.67*x[7];

```

```

dx[8]:=x[4];
dx[9]:=(-0.135*xtot+0.183)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]-
((0.19*xtot+0.26)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.169)*x[9]-
30.776*x[10];

```

```

dx[10]:=66.67*(0.266*xtot-0.098)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))*x[8]+
66.67*((-0.209*xtot-0.285)/(9e-
6+(xtot+1.361)*(xtot+0.248))+0.841)*x[9]-
66.67*x[10];

```

```

for i:=1 to order do

```

```

begin
Ke[i]:=x[i];
K[1,i]:=dx[i];
t:=tk+h/2;
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[1,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/2*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]);
dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]);

```

```

for i:=1 to order do

```

```

begin
K[2,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/2)*K[2,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2
dx[2]:=1/2*(Pm-
(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-
teta23)*pi/180))-D*x[2]);
dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-
(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-
teta23)*pi/180))-D*x[4]);

```

```

for i:=1 to order do

```

```

begin
K[3,i]:=dx[i];
t:=tk+h;
x[i]:=Ke[i]+h*K[3,i];
end;

```

```

dx[1]:=377*x[2]; //delta 2

```

```

dx[2]:=1/2*(Pm-(g2*e2*e2+y12*e1*e2*sin((x[1]-
teta12)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[1]-x[3]-teta23)*pi/180))-
D*x[2]);
dx[3]:=377*x[4]; //delta 2
dx[4]:=1/2*(Pm3-(g3*e3*e3+y13*e1*e3*sin((x[3]-
teta13)*pi/180)+
y23*e2*e3*sin((x[3]-x[1]-teta23)*pi/180))-
D*x[4]);

```

```

for i:=1 to order do
begin
K[4,i]:=dx[i];
x[i]:=Ke[i]+(h/6)*(K[1,i]+2*K[2,i]+2*K[3,i]+K[4,i]);
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm3.Gbr_Dasar;

```

```

begin
kotak.Left:=10000;
kotak.Right:=10000;
kotak.Top:=40000;
kotak.Bottom:=-40000;
SetMapMode(PaintBox1.Canvas.Handle,
MM_ANISOTROPIC);
SetWindowExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
20000,
160000,
nil);
SetViewPortExtEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width,
-PaintBox1.Height,
nil);
SetWindowOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
0,
0,
nil);
SetViewPortOrgEx(PaintBox1.Canvas.Handle,
PaintBox1.Width div 2,
PaintBox1.Height div 2,
nil);
end;

```

```

Procedure TForm3.Gbr_Sumbu;
begin

```

```

PaintBox1.Canvas.Brush.Color:=clWhite;
PaintBox1.Canvas.FillRect(kotak);
PaintBox1.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
PaintBox1.Canvas.Pen.Width := 5;
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,13000); //sb y
PaintBox1.Canvas.LineTo(-8800,-11000);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(-8800,-11000); //sb x
PaintBox1.Canvas.LineTo(9600,-11000);
end;

```

```

Procedure TForm3.Gbr_Skala;

```

```

begin
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7000,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-7200,-12000,'1.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5200,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-5400,-12000,'2.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3400,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-3600,-12000,'3.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-1600,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-1800,-12000,'4.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(200,-10000,'');
PaintBox1.Canvas.TextOut(-0,-12000,'5.0');
PaintBox1.Canvas.TextOut(2000,-10000,'');
end;

```

```

    PaintBox1.Canvas.TextOut(1800,-
12000,'6.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(3800,-10000,'I');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(3600,-
12000,'7.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(5600,-10000,'I');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(5400,-
12000,'8.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(7400,-10000,'I');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(7200,-
12000,'9.0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(9200,-10000,'I');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(9000,-
12000,'10');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(9500,-10000,'>');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(7500,-8000,'Time
[s]');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-
8600,13000,'angle [deg]');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,11000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,11000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,11000,'-
2,0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,6000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,6000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,6000,'-
3,0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,1000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,1000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9900,1000,'-
4,0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-4000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,-4000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9950,-4000,'-
5,0');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9000,-9000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-8750,-9000,'-');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(-9950,-9000,'-
6,0');

end;

```

```

procedure TForm3.PaintBox1Paint(Sender:
TObject);
begin
if checkbox1.checked=true then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);
    Gbr_Skala(Sender);
    gambar(Sender);
    Gambar_fuzzy(Sender);
end
else
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);
    Gbr_Skala(Sender);
    Gambar_fuzzy(Sender);
end;
end;
if checkbox1.checked=false then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);

```

```

    Gbr_Skala(Sender);
    Gambar(Sender);
end
else
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);
    Gbr_Skala(Sender);
end
end;

end;

procedure TForm3.PaintBox1Click(Sender: TObject);
begin
if checkbox1.checked=true then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);
    Gbr_Skala(Sender);
    Gambar(Sender);
    Gambar_fuzzy(Sender);
end
else
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);
    Gbr_Skala(Sender);
    Gambar(Sender);
end;
end;
if checkbox1.checked=false then
begin
if checkbox2.checked=true then
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);
    Gbr_Skala(Sender);
    Gambar(Sender);
end
else
begin
    Gbr_Dasar(Sender);
    Gbr_Sumbu(Sender);
    Gbr_Skala(Sender);
end
end;

end;

end.

```

## Gaussedel;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes,  
Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls;

type

TForm1 = class(TForm)

Edit1: TEdit;  
Edit2: TEdit;  
Edit3: TEdit;  
Edit4: TEdit;  
Edit5: TEdit;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Label6: TLabel;  
Edit11: TEdit;  
Edit12: TEdit;  
Label7: TLabel;  
Label8: TLabel;  
Edit13: TEdit;  
Edit14: TEdit;  
Label9: TLabel;  
Edit15: TEdit;  
Edit16: TEdit;  
Label10: TLabel;  
Edit17: TEdit;  
Edit18: TEdit;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Edit19: TEdit;  
Edit20: TEdit;  
Label13: TLabel;  
Edit21: TEdit;  
Edit22: TEdit;  
Label14: TLabel;  
Edit23: TEdit;  
Edit24: TEdit;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Edit25: TEdit;  
Edit26: TEdit;  
Label17: TLabel;  
Edit27: TEdit;  
Edit28: TEdit;  
Label18: TLabel;  
Edit29: TEdit;  
Edit30: TEdit;  
Label19: TLabel;  
Edit31: TEdit;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;

Label28: TLabel;  
Label29: TLabel;  
Label30: TLabel;  
Label31: TLabel;  
Label32: TLabel;  
Label33: TLabel;  
Label34: TLabel;  
Label35: TLabel;  
Button1: TButton;  
Label36: TLabel;  
Label37: TLabel;  
Label38: TLabel;  
Label39: TLabel;  
Edit32: TEdit;  
Edit34: TEdit;  
Edit36: TEdit;  
Label40: TLabel;  
Edit33: TEdit;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Label43: TLabel;  
Label44: TLabel;  
Edit35: TEdit;  
Edit37: TEdit;  
Edit38: TEdit;  
Edit39: TEdit;  
Label45: TLabel;  
Label46: TLabel;  
Label47: TLabel;  
Edit40: TEdit;  
Edit41: TEdit;  
Label48: TLabel;  
Label49: TLabel;  
Label50: TLabel;  
Edit42: TEdit;  
Edit43: TEdit;  
Edit44: TEdit;  
Label52: TLabel;  
Label53: TLabel;  
Label54: TLabel;  
Label55: TLabel;  
Label56: TLabel;  
Edit45: TEdit;  
Edit46: TEdit;  
Label57: TLabel;  
Label58: TLabel;  
Edit47: TEdit;  
Edit48: TEdit;  
Button2: TButton;  
Label59: TLabel;  
Label60: TLabel;  
Label61: TLabel;  
Edit49: TEdit;  
Edit50: TEdit;  
Label62: TLabel;  
Label63: TLabel;  
Edit51: TEdit;  
Edit52: TEdit;  
Label64: TLabel;  
Label65: TLabel;  
Edit53: TEdit;  
Edit54: TEdit;  
Label66: TLabel;  
Label67: TLabel;  
Edit55: TEdit;  
Edit56: TEdit;  
Label74: TLabel;  
Label75: TLabel;  
Label76: TLabel;

```

Label77: TLabel;
Label78: TLabel;
Label79: TLabel;
Edit63: TEdit;
Edit64: TEdit;
Edit65: TEdit;
Edit66: TEdit;
Edit67: TEdit;
Edit68: TEdit;
Image1: TImage;
Label68: TLabel;
Label69: TLabel;
Label70: TLabel;
Edit57: TEdit;
Edit58: TEdit;
Label71: TLabel;
Edit59: TEdit;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form1: TForm1;

implementation

{$R *.DFM}

function BagiR(r1,r2,i1,i2:double):single;
begin
if r2=0 then
begin
if i2=0 then BagiR:=0
else BagiR:=(i1*i2)/(sqr(i2));
end
else BagiR:=(r1*r2+i1*i2)/(sqr(r2)+sqr(i2));
end;

function BagiI(r1,r2,i1,i2:single):single;
begin
if r2=0 then
begin
if i2=0 then BagiI:=0
else BagiI:=(-i2*r1)/(sqr(i2));
end
else BagiI:=(r2*i1-i2*r1)/(sqr(r2)+sqr(i2));
end;

function Polak(Re1,Im1 :Extended):Extended;
begin
Polak:=sqrt(sqr(Re1)+sqr(Im1));
end;

function Podut(Re1,Im1 :Extended):Extended;
var
sdt :Extended;
begin
if Re1=0 then
begin
sdt:=1e-15;
Podut:=180/pi*arctan(sdt);
end
else
if Re1<0 then

```

```

Podut:=180/pi*arctan(Im1/Re1)+180
else
Podut:=180/pi*arctan(Im1/Re1);
end;

function Divvpol(Re1,re2,im1,im2:single):single;
begin
if re2=0 then
begin
re2:=1e-20;
Divvpol:=re1/re2;
end
else
Divvpol:=re1/re2;
end;

function Divsud(Re1,re2,im1,im2:single):single;
begin
Divsud:=im1-im2;
end;

function Rekil(Re1,Im1 :Extended):Extended;
begin
Rekil:=Re1*cos(pi/180*Im1);
end;

function Rejin(Re1,Im1 :Extended):Extended;
begin
Rejin:=Re1*sin(pi/180*Im1);
end;

function KuraR(r1,r2,i1,i2:single):single;
begin
KuraR:=r1-r2;
end;

function Kural(r1,r2,i1,i2:single):single;
begin
Kural:=i1-i2;
end;

function JumR(r1,r2,r3,i1,i2,i3:single):single;
begin
JumR:=r1+r2+r3;
end;

function JumI(r1,r2,r3,i1,i2,i3:single):single;
begin
JumI:=i1+i2+i3;
end;

function KaliR(r1,r2,i1,i2:single):single;
begin
KaliR:=r1*r2-i1*i2;
end;

function KaliI(r1,r2,i1,i2:single):single;
begin
KaliI:=r1*i2+i1*r2; //(r1+ji1)*(r2+ji2)
end;

function seperR(r1,i1:single):single;//r1+ji1/r2+ji2
begin
if i1=0 then
begin
if r1=0 then seperR:=0
else seperR:=r1/(sqr(r1));
end
else seperR:=r1/(sqr(r1)+sqr(i1));
end;

```

```

end;

function seperl(r1,il:single):single;
begin
if r1=0 then
begin
if il=0 then seperl:=0
else seperl:=-il/(sqr(il));
end
else seperl:=-il/(sqr(r1)+sqr(il));
end;

function AdmiR(r1,il:single):single;
begin
if il=0 then
begin
if r1=0 then AdmiR:=0
else AdmiR:=r1/(sqr(r1));
end
else AdmiR:=r1/(sqr(r1)+sqr(il));
end;

function AdmiI(r1,il:single):single;
begin
if r1=0 then
begin
if il=0 then AdmiI:=0
else AdmiI:=-il/(sqr(il));
end
else AdmiI:=-il/(sqr(r1)+sqr(il));
end;

function
DayaR(yr1,yr2,vr1,vr2,yi1,yi2,vx1,vx2:single):s
ingle;
var
YVx,YVr,YV1r,YV2r,YV1x,YV2x :single;
begin
YV1r:=KaliR(yr1,vr1,yi1,vx1);
YV2r:=KaliR(yr2,vr2,yi2,vx2);
YV1x:=KaliI(yr1,vr1,yi1,vx1);
YV2x:=KaliI(yr2,vr2,yi2,vx2);
YVr:=YV1r+YV2r;
YVx:=YV1x+YV2x;
DayaR:=KaliR(YVr,vr2,YVx,-vx2);
end;

function
DayaX(yr1,yr2,vr1,vr2,yi1,yi2,vx1,vx2:single):s
ingle;
var
YVx,YVr,YV1r,YV2r,YV1x,YV2x :single;
begin
YV1r:=KaliR(yr1,vr1,yi1,vx1);
YV2r:=KaliR(yr2,vr2,yi2,vx2);
YV1x:=KaliI(yr1,vr1,yi1,vx1);
YV2x:=KaliI(yr2,vr2,yi2,vx2);
YVr:=YV1r+YV2r;
YVx:=YV1x+YV2x;
DayaX:=KaliI(YVr,vr2,YVx,-vx2);
end;

function
VYR(yrr,yr,vr1,yii,yi,vx1:single):single;
var
Yr1,Yx1,YYr,YYx :single;
begin
Yr1:=SeperR(yrr,yii);
Yx1:=Seperl(yrr,yii);

```

```

YYr:=KaliR(Yr1,yr,Yx1,yi);
YYx:=KaliI(Yr1,yr,Yx1,yi);
VYR:=KaliR(YYr,vr1,YYx,vx1);
end;

function VYX(yrr,yr,vr1,yii,yi,vx1:single):single;
var
Yr1,Yx1,YYr,YYx :single;
begin
Yr1:=SeperR(yrr,yii);
Yx1:=Seperl(yrr,yii);
YYr:=KaliR(Yr1,yr,Yx1,yi);
YYx:=KaliI(Yr1,yr,Yx1,yi);
VYX:=KaliI(YYr,vr1,YYx,vx1);
end;

function GayaR(yrr,p,vr,yii,q,vx:single):single;
var
Yr,Yx,YPr,YPx :single;
begin
Yr:=SeperR(yrr,yii);
Yx:=Seperl(yrr,yii);
YPr:=BagiR(p,vr,q,vx);
YPx:=Bagil(p,vr,q,vx);
GayaR:=KaliR(Yr,YPr,Yx,YPx);
end;

function Gayal(yrr,p,vr,yii,q,vx:single):single;
var
Yr,Yx,YPr,YPx :single;
begin
Yr:=SeperR(yrr,yii);
Yx:=Seperl(yrr,yii);
YPr:=BagiR(p,vr,q,vx);
YPx:=Bagil(p,vr,q,vx);
Gayal:=KaliI(Yr,YPr,Yx,YPx);
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
pol21,pol22,pol23,sud21,sud22,sud23,
pol31,pol32,pol33,sud31,sud32,sud33,
pol41,pol42,pol43,sud41,sud42,sud43,
l21p,l22p,l23p,l24p,Eg2r,Eg2p,
l21s,l22s,l23s,l24s,Eg2i,Eg2s,
l31p,l32p,l33p,l34p,Eg3r,Eg3p,
l31s,l32s,l33s,l34s,Eg3i,Eg3s,

dv41r,dv41i,v41yr,v41yi,P41r,P41i,
dv14r,dv14i,v14yr,v14yi,P14r,P14i,
dv24r,dv24i,v24yr,v24yi,P24r,P24i,
dv42r,dv42i,v42yr,v42yi,P42r,P42i,
dv34r,dv34i,v34yr,v34yi,P34r,P34i,
dv43r,dv43i,v43yr,v43yi,P43r,P43i,

v1rl,v1il,
v2rl,v2il,v2rb,v2ib,
v3rl,v3il,v3rb,v3ib,
v4rl,v4il,v4rb,v4ib,

r40,r12,r13,r14,r23,r24,r34,rx2,rx3,
x40,x12,x13,x14,x23,x24,x34,jx2,jx3,

yr40,Yi40,
yr22,yr33,yr44,yi22,yi33,yi44,
yr12,yr13,yr14,yr23,yr24,yr34,
yi12,yi13,yi14,yi23,yi24,yi34,

r,a,mvabase,kvabase,

```

```

s1,s2,s3,cospi1,cospi2,cospi3,
p1,p2,p3,p4,q1,q2,q3,q4,
lp1,lp2,lp3,lp4,lq1,lq2,lq3,lq4,
Ar,Ai,Br,Bi,Cr,Ci,Dr,Di,Er,Ei,Fr,Fi,
A2r,B2r,C2r,D2r,E2r,F2r,G2r,
A2i,B2i,C2i,D2i,E2i,F2i,G2i,
A3r,B3r,C3r,D3r,E3r,F3r,G3r,
A3i,B3i,C3i,D3i,E3i,F3i,G3i,
A4r,B4r,C4r,D4r,E4r,F4r,G4r,H4r,I4r,J4r,K4r,
A4i,B4i,C4i,D4i,E4i,F4i,G4i,H4i,I4i,J4i,K4i
:single;

```

```

n,i,j,k          :integer;

```

```

begin
R12:= StrToCurr(Edit67.Text); x12:=
StrToCurr(Edit68.Text); //
R13:= StrToCurr(Edit63.Text); x13:=
StrToCurr(Edit64.Text); //
R14:= StrToCurr(Edit1.Text); x14:=
StrToCurr(Edit2.Text); //
R23:= StrToCurr(Edit65.Text); x23:=
StrToCurr(Edit66.Text); //
R24:= StrToCurr(Edit3.Text); x24:=
StrToCurr(Edit4.Text); //
R34:= StrToCurr(Edit5.Text); x34:=
StrToCurr(Edit6.Text); //
R40:= StrToCurr(Edit57.Text); x40:=
StrToCurr(Edit58.Text); //

```

```

v1rl:= StrToCurr(Edit7.Text); v1il:=
StrToCurr(Edit8.Text); //
v2rl:= StrToCurr(Edit9.Text); v2il:=
StrToCurr(Edit10.Text); //
v3rl:= StrToCurr(Edit11.Text); v3il:=
StrToCurr(Edit12.Text); //
v4rl:= StrToCurr(Edit13.Text); v4il:=
StrToCurr(Edit14.Text); //
lp1:= StrToCurr(Edit15.Text); lq1:=
StrToCurr(Edit16.Text); //
lp2:= StrToCurr(Edit17.Text); lq2:=
StrToCurr(Edit18.Text); //
lp3:= StrToCurr(Edit19.Text); lq3:=
StrToCurr(Edit20.Text); //
lp4:= StrToCurr(Edit21.Text); lq4:=
StrToCurr(Edit22.Text); //
S1:= StrToCurr(Edit31.Text); cospi1:=
StrToCurr(Edit32.Text); //
S2:= StrToCurr(Edit33.Text); cospi2:=
StrToCurr(Edit34.Text); //
S3:= StrToCurr(Edit35.Text); cospi3:=
StrToCurr(Edit36.Text); //

```

```

MVAbase:=StrToInt(Edit37.Text);n:=StrToInt(
Edit38.Text);
kVAbase:=StrToInt(Edit59.Text);

```

```

rx2:=0; jx2:=0.4;
rx3:=0; jx3:=0.4;
r:=0; j:=0;

```

```

Yr12:=Admir(r12,x12); Yi12:=
Admil(r12,x12);
Yr13:=Admir(r13,x13); Yi13:=
Admil(r13,x13);
Yr14:=Admir(r14,x14); Yi14:=
Admil(r14,x14);
Yr23:=Admir(r23,x23); Yi23:=
Admil(r23,x23);

```

```

Yr24:=Admir(r24,x24); Yi24:=Admil(r24,x24);
Yr34:=Admir(r34,x34); Yi34:=Admil(r34,x34);

```

```

Yr40:=(R40);
Yr22:=(Yr24+Yr12+Yr23);
Yr33:=(Yr34+Yr13+Yr23);
Yr44:=(Yr14+Yr24+Yr34);

```

```

Yi40:=x40;
Yi22:=Yi24-Yi12-Yi23;
Yi33:=Yi34-Yi13-Yi23;
Yi44:=Yi40-Yi14-Yi24-Yi34;

```

```

a:=1.4//ArcTan (sqrt (1-sqr (x) )/x)
p1:=s1/mvabase*cospi1;
p2:=s2/mvabase*cospi2;
p3:=s3/mvabase*cospi3;
q1:=s1/mvabase*sin(arcTan(sqrt(1-sqr(cospi1))/cospi1));
q2:=s2/mvabase*sin(arcTan(sqrt(1-sqr(cospi2))/cospi2));
q3:=s3/mvabase*sin(arcTan(sqrt(1-sqr(cospi3))/cospi3));

```

```

for i:=1 to n do
begin
****Bus Gen(2)*** vb2 =1/Y22*((P2-jQ2)/v2-
(Y24*v4)****
//-----
(1/Y22)*Y24*V4
// q2:=DayaX(yr22,yr22,v4rl,v2rl,yi22,v4il,v2il);
C2r:=VYR(yr22,yr24,v4rl,yi22,yi24,v4il);
C2i:=VYX(yr22,yr24,v4rl,yi22,yi24,v4il);

```

```

//-----P2-jQ2/V2/Y22
E2r:=GayaR(yr22,(p2-p2),v2rl,yi22,(-q2+lq2),-v2il);
E2i:=GayaI(yr22,(p2-lp2),v2rl,yi22,(-q2+lq2),-v2il);
//-----Hasil V2 baru
F2r:=KuraR(E2r,C2r,E2i,C2i);//(P2-jQ2)/V2 - Y24*V4
F2i:=KuraI(E2r,C2r,E2i,C2i);

```

```

//-----Selisih tegangan
G2r:=KuraR(F2r,v2rl,F2i,v2il); //delta_V2
G2i:=KuraI(F2r,v2rl,F2i,v2il);

```

```

//-----Akselerasi
v2rb:=JumR(v2rl,(a*G2r),r,v2il,(a*G2i),j);//alfa =a
v2ib:=Juml(v2rl,(a*G2r),r,v2il,(a*G2i),j);

```

```

//-----hasil akhir
v2rl:=v2rb;
v2il:=v2ib;

```

```

//-----*
I21p:=Polak(v2rb,-v2ib);
I21s:=Podut(v2rb,-v2ib);
I22p:=divpol(p2,i21p,-q2,i21s);
I22s:=divsud(p2,i21p,-q2,i21s);
I23p:=rekil(i22p,i22s);
I23s:=rejin(i22p,i22s);
I24p:=KaliR(i23p,rx2,i23s,jx2);
I24s:=Kalil(i23p,rx2,i23s,jx2);
Eg2r:=JumR(v2rb,i24p,r,v2ib,i24s,j);
Eg2i:=Juml(v2rb,i24p,r,v2ib,i24s,j);
Eg2p:=Polak(eg2r,eg2i);
Eg2s:=Podut(eg2r,eg2i);

```

```

****Bus Gen(3)*** vb3 =1/Y33*((P3-jQ3)/v3-
(Y34*v4)****
//-----
(1/Y33)*Y34*V4
// q3:=DayaX(yr34,yr33,v4rl,v3rl,yi34,yi33,v4il,v3il);
C3r:=VYR(yr33,yr34,v4rl,yi33,yi34,v4il);
C3i:=VYX(yr33,yr34,v4rl,yi33,yi34,v4il);

```

//-----P2-  
jQ2/V2/Y22  
E3r:=GayaR(yr33,(p3-lp3),v3rl,yi33,(-  
q3+lq3),-v3il);  
E3i:=Gayal(yr33,(p3-lp3),v3rl,yi33,(-q3+lq3),-  
v3il);  
//-----Hasil V3 baru  
F3r:=KuraR(E3r,C3r,E3i,C3i);//(P3-jQ3)/V3\*-  
Y34\*V4  
F3i:=Kural(E3r,C3r,E3i,C3i);

//-----Selisih tegangan  
G3r:=KuraR(F3r,v3rl,F3i,v3il); //delta\_V3  
G3i:=Kural(F3r,v3rl,F3i,v3il);

//-----  
Akselerasi  
v3rb:=JumR(v3rl,(a\*G3r),r,v3il,(a\*G3i),j);//alfa  
=a  
v3ib:=Juml(v3rl,(a\*G3r),r,v3il,(a\*G3i),j);

//-----hasil akhir  
v3rl:=v3rb;  
v3il:=v3ib;

//-----\*  
//-----Arus dan Teg  
G3=====

I31p:=Polak(v3rb,-v3ib);  
I31s:=Podut(v3rb,-v3ib);  
I32p:=divpol(p3,i31p,-q3,i31s);  
I32s:=divsud(p3,i31p,-q3,i31s);  
I33p:=rekil(i32p,i32s);  
I33s:=rejin(i32p,i32s);  
I34p:=Kalir(i33p,rx3,i33s,jx3);  
I34s:=Kalil(i33p,rx3,i33s,jx3);  
Eg3r:=JumR(v3rb,i34p,r,v3ib,i34s,j);  
Eg3i:=Juml(v3rb,i34p,r,v3ib,i34s,j);  
Eg3p:=Polak(eg3r,eg3i);  
Eg3s:=Podut(eg3r,eg3i);

//\*\*Bus Beban vb4 = 1/Y44\*((P4-jQ4)/v41-  
(Y14\*v1+Y42\*v2+Y43\*v3)) \*\*\*\*\*

//-----  
SIGMA(1/Y44)\*Yij\*Vj  
E4r:=VYR(yr44,yr14,v1rl,yi44,yi14,v1il);  
E4i:=VYX(yr44,yr14,v1rl,yi44,yi14,v1il);  
F4r:=VYR(yr44,yr24,v2rl,yi44,yi24,v2il);  
F4i:=VYX(yr44,yr24,v2rl,yi44,yi24,v2il);  
G4r:=VYR(yr44,yr34,v3rl,yi44,yi34,v3il);  
G4i:=VYX(yr44,yr34,v3rl,yi44,yi34,v3il);

//-----  
(1/Y44)\*(P4-jQ4)  
I4r:=GayaR(yr44,-lp4,v4rl,yi44,lq4,-v4il);  
I4i:=Gayal(yr44,-lp4,v4rl,yi44,lq4,-v4il);  
//-----Hasil V4 baru

J4r:=KuraR(I4r,(E4r+F4r+G4r),I4i,(E4i+F4i+G4i));  
//((P4-jQ4)/V4\*- Y34\*V3\*(1/Y44)-...

J4i:=Kural(I4r,(E4r+F4r+G4r),I4i,(E4i+F4i+G4i));

//-----Selisih tegangan  
K4r:=KuraR(J4r,v4rl,J4i,v4il); //delta\_V2  
K4i:=Kural(J4r,v4rl,J4i,v4il);

//-----Akselerasi  
v4rb:=JumR(v4rl,(a\*K4r),r,v4il,(a\*K4i),j);//alfa =1,6  
v4ib:=Juml(v4rl,(a\*K4r),r,v4il,(a\*K4i),j);

//-----hasil akhir  
v4rl:=v4rb;  
v4il:=v4ib;

//-----Aliran daya saluran  
dv41r:=KuraR(v4rb,v1rl,v4ib,v1il);//V4-V1  
dv41i:=Kural(v4rb,v1rl,v4ib,v1il);  
v41yr:=KaliR(dv41r,yr14,dv41i,yi14);  
v41yi:=Kalil(dv41r,yr14,dv41i,yi14);  
P41r:=KaliR(v4rb,v41yr,-v4ib,v41yi);  
P41i:=Kalil(v4rb,v41yr,-v4ib,v41yi);

dv14r:=KuraR(v1rl,v4rb,v1il,v4ib);//V1-V4  
dv14i:=Kural(v1rl,v4rb,v1il,v4ib);  
v14yr:=KaliR(dv14r,yr14,dv14i,yi14);  
v14yi:=Kalil(dv14r,yr14,dv14i,yi14);  
P14r:=KaliR(v1rl,v14yr,-v1il,v14yi);  
P14i:=Kalil(v1rl,v14yr,-v1il,v14yi);

dv24r:=KuraR(v2rb,v4rb,v2ib,v4ib);//V2-V4  
dv24i:=Kural(v2rb,v4rb,v2ib,v4ib);  
v24yr:=KaliR(dv24r,yr24,dv24i,yi24);  
v24yi:=Kalil(dv24r,yr24,dv24i,yi24);  
P24r:=KaliR(v2rb,v24yr,-v2ib,v24yi);  
P24i:=Kalil(v2rb,v24yr,-v2ib,v24yi);

dv42r:=KuraR(v4rb,v2rb,v4ib,v2ib);//V4-V2  
dv42i:=Kural(v4rb,v2rb,v4ib,v2ib);  
v42yr:=KaliR(dv42r,yr24,dv42i,yi24);  
v42yi:=Kalil(dv42r,yr24,dv42i,yi24);  
P42r:=KaliR(v4rb,v42yr,-v4ib,v42yi);  
P42i:=Kalil(v4rb,v42yr,-v4ib,v42yi);

dv34r:=KuraR(v3rb,v4rb,v3ib,v4ib);//V3-V4  
dv34i:=Kural(v3rb,v4rb,v3ib,v4ib);  
v34yr:=KaliR(dv34r,yr34,dv34i,yi34);  
v34yi:=Kalil(dv34r,yr34,dv34i,yi34);  
P34r:=KaliR(v3rb,v34yr,-v3ib,v34yi);  
P34i:=Kalil(v3rb,v34yr,-v3ib,v34yi);

dv43r:=KuraR(v4rb,v3rb,v4ib,v3ib);//V4-V3  
dv43i:=Kural(v4rb,v3rb,v4ib,v3ib);  
v43yr:=KaliR(dv43r,yr34,dv43i,yi34);  
v43yi:=Kalil(dv43r,yr34,dv43i,yi34);  
P43r:=KaliR(v4rb,v43yr,-v4ib,v43yi);  
P43i:=Kalil(v4rb,v43yr,-v4ib,v43yi);

//=====Cetak++++  
edit23.text:=CurrToStr(v1rl);edit24.text:=CurrToStr(v1il);  
);  
edit25.text:=CurrToStr(v2rb);edit26.text:=CurrToStr(v2ib);  
);  
edit27.text:=CurrToStr(v3rb);edit28.text:=CurrToStr(v3ib);  
);  
edit29.text:=CurrToStr(v4rb);edit30.text:=CurrToStr(v4ib);  
);

edit39.text:=CurrToStr(v1rl);edit40.text:=CurrToStr(v1il);  
);  
edit41.text:=CurrToStr(eg2p);edit42.text:=CurrToStr(eg2s);  
edit43.text:=CurrToStr(eg3p);edit44.text:=CurrToStr(eg3s);

```
edit45.text:=CurrToStr(P41r);edit46.text:=CurrT  
oStr(P41i);  
edit47.text:=CurrToStr(P14r);edit48.text:=CurrT  
oStr(P14i);
```

```
edit49.text:=CurrToStr(P24r);edit50.text:=CurrT  
oStr(P24i);  
edit51.text:=CurrToStr(P42r);edit52.text:=CurrT  
oStr(P42i);  
edit53.text:=CurrToStr(P34r);edit54.text:=CurrT  
oStr(P34i);  
edit55.text:=CurrToStr(P43r);edit56.text:=CurrT  
oStr(P43i);
```

```
end;  
end;
```

```
procedure TForm1.Button2Click(Sender:  
TObject);  
begin  
  Close;  
end;
```

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender:  
TObject);  
begin
```

```
if Edit1.Text="" then Edit1.Text:=0';  
if Edit2.Text="" then Edit2.Text:=0.28';  
if Edit3.Text="" then Edit3.Text:=0';  
if Edit4.Text="" then Edit4.Text:=0.068';  
if Edit5.Text="" then Edit5.Text:=0';  
if Edit6.Text="" then Edit6.Text:=0.136';
```

```
if Edit63.Text="" then Edit63.Text:=0';  
if Edit64.Text="" then Edit64.Text:=0';  
if Edit65.Text="" then Edit65.Text:=0';  
if Edit66.Text="" then Edit66.Text:=0';  
if Edit67.Text="" then Edit67.Text:=0';  
if Edit68.Text="" then Edit68.Text:=0';
```

```
if Edit57.Text="" then Edit57.Text:=0';  
if Edit58.Text="" then Edit58.Text:=0.007';
```

```
if Edit7.Text="" then Edit7.Text:=1';  
if Edit8.Text="" then Edit8.Text:=0';  
if Edit9.Text="" then Edit9.Text:=1';  
if Edit10.Text="" then Edit10.Text:=0';  
if Edit11.Text="" then Edit11.Text:=1';  
if Edit12.Text="" then Edit12.Text:=0';  
if Edit13.Text="" then Edit13.Text:=1';  
if Edit14.Text="" then Edit14.Text:=0';
```

```
if Edit15.Text="" then Edit15.Text:=6';  
if Edit16.Text="" then Edit16.Text:=1.2';  
if Edit17.Text="" then Edit17.Text:=0.1';  
if Edit18.Text="" then Edit18.Text:=0.01';  
if Edit19.Text="" then Edit19.Text:=0.1';  
if Edit20.Text="" then Edit20.Text:=0.01';  
if Edit21.Text="" then Edit21.Text:=1';  
if Edit22.Text="" then Edit22.Text:=0.2';
```

```
if Edit31.Text="" then Edit31.Text:=5500';  
if Edit32.Text="" then Edit32.Text:=0.85';  
if Edit33.Text="" then Edit33.Text:=1800';  
if Edit34.Text="" then Edit34.Text:=0.85';  
if Edit35.Text="" then Edit35.Text:=1800';  
if Edit36.Text="" then Edit36.Text:=0.85';  
if Edit37.Text="" then Edit37.Text:=1000';  
if Edit38.Text="" then Edit38.Text:=100';
```

```
if Edit59.Text="" then Edit59.Text:=500';
```

```
end;
```

```
end.
```