

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

ENERĢĒTIKAS UN ELEKTROTEHNIKAS FAKULTĀTE

ENERĢĒTIKAS INSTITŪTS

**Laboratorijas darbu komplekss ETAP vidē
maģistra studiju programmai
II daļa**

Metodiskie norādījumi laboratorijas darbu izpildei
datorprogrammā ETAP 7.1

RTU Izdevniecība
RĪGA 2013

UDK 621.311.018.782 (076.5)

La 054

Laboratorijas darbu komplekss ETAP vidē maģistra studiju programmai. II daļa. Metodiskie norādījumi laboratorijas darbu izpildei datorprogrammā ETAP 7.1. – Rīga, RTU Izdevniecība, 2013. – 52 lpp.

Šis apraksts sniedz nepieciešamo informāciju par laboratorijas darba saturu (izvirzītajiem mērķiem un uzdevumiem), norises kārtību, pirmsaizstāvēšanas un aizstāvēšanas prasībām, teorētisko, praktisko daļu un noformējumu (pielikumā ir dota atskaites forma).

Laboratorijas darba apraksts ir speciāli izstrādāts Enerģētikas un elektrotehnikas maģistra programmas studentiem disciplīnā – Elektroenerģētisko sistēmu stabilitāte, lai pilnveidotu zināšanas par energosistēmas modelēšanas un pārejas procesu pētīšanas iespējām.

Apraksts laboratorijas darbam ir brīvi pieejams, visas autortiesības pieder Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas institūtam.

Sastādītāji: D. Antonovs, E. Bieļa, A. Sauhats, I. Zicmane

Recenzents: vad. pētn., Dr. sc. ing., Josifs Survilo

Iespiests saskaņā ar EVA 2013.gada 3.jūnija lēmumu protokols Nr. 11211-1.1/4

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2013.g.

ISBN 978-9934-10-446-6

SATURS

2. laboratorijas darbs	5
Laboratorijas darba mērķis	6
Laboratorijas darba uzdevums	6
Teorētiskā daļa	7
Stabilitātes novērtēšana pārejas procesu laikā	7
Pārejas procesu stabilitātes rīkjosla	8
Pārejas procesu stabilitātes redaktora apraksts	9
Informācijas lapa	10
Notikumu lapa	10
Darbību saraksts	13
Risinājuma parametri	14
Praktiskā daļa	17
Pārejas procesu analīzes modulis	17
Elementu datu papildināšana ar parametriem, kas ir nepieciešami pārejas procesu modelēšanai	19
Bojājumu modelēšana	25
Scenāriju pārbaude un sākuma datu eksportēšana	34
Pētījuma elementu izvēle	36
Scenāriju pētīšana un datu eksportēšana	38
Bojājuma scenāriju modelēšanas variantu tabula	46

Rezultāti un to analīze	48
Secinājumi	49
Pielikumi	50
Bibliogrāfiskais saraksts	52

ELEKTROENERĢĒTISKO SISTĒMU STABILITĀTE

Energosistēmas pārejas procesu modelēšana ETAP vidē

2. laboratorijas darbs

Laboratorijas darba mērķis

- Iemācīties modelēt pārejas procesus energosistēmā, izmantojot ETAP programmatūras iespējas.
- Izpētīt pārejas procesus, veicot bojājumu scenāriju izstrādi atbilstoši noteiktam variantam.

Laboratorijas darba uzdevumi

- Papildināt 1. laboratorijas darba energosistēmas shēmas elementu datus.
- Modelēt pārejas procesus energosistēmā:
 - izveidot iespējamus notikumu gadījumus;
 - izveidot bojājumu scenārijus un aktivizēt atbilstošos notikumus un darbības.
- Attēlot grafiski pārejas procesu datus norādītiem elementiem.
- Analizēt laboratorijas darbā iegūtos rezultātus.
- Identificēt faktorus, kas būtiski ietekmē pārejas procesa raksturu.

Teorētiskā daļa

Stabilitātes novērtēšana pārejas procesu laikā

Viens no ETAP moduļiem ir pārejas procesu stabilitātes analīzes programma, lai pētītu energosistēmas dinamiku un stabilitātes robežas katrā laika momentā, kad notiek sistēmas izmaiņas vai perturbācijas. Programma modelē energosistēmas dinamiskos raksturlielumus, izpilda lietotāja definētos notikumus un tiem atbilstošās darbības, saskaņoti atrisinot energosistēmas tīkla vienādojumu un mašīnu (dzinēju, ģeneratoru u.c.) diferenciālvienādojumus, lai noskaidrotu sistēmas un mašīnu (dzinēju, ģeneratoru u.c.) uzvedību pārejas procesu laikā. Šos risinājumus var izmantot, lai noteiktu sistēmas pārejas procesu raksturu, veicot stabilitātes novērtējumu, izvēlēties aizsardzības iekārtas iestatījumus un novērtēt pasākumu nepieciešamību, lai uzlabotu sistēmas stabilitāti kopumā.

Lai varētu veikt dinamiskās stabilitātes pētījumus, ģeneratoram jāievada papilddati. Ģeneratoru inerces konstanti $H (T_j)$, inerces momentu (WR^2) $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ jāievada gan turbīnai, gan ģeneratoram, gan reduktoram. ETAP aprēķinās H

(MW*sec/MVA), ja tiek ievadīts inerces moments WR^2 . ETAPā jāievada nominālais griešanās ātrums (RPM) (apgr./min) turbīnai un reduktoram.

Atsevišķa uzmanība jāpievērš konkrētiem blokiem un to aprakstiem, kas būs nepieciešami, lai veiksmīgi izpildītu šo laboratorijas darbu:

- **Pārejas procesu stabilitātes rīkjosla**
(Transient Stability Toolbar)

Izvēloties pētījuma gadījumu no *Study Case Toolbar*, jānospiež poga, lai palaistu pārejas procesu stabilitātes aprēķinu (*Run Transient Stability*) un veiktu pārejas procesu stabilitātes izpēti. Dialoglodziņš pieprasīs norādīt sākuma atskaites nosaukumu, ja izejas faila nosaukums ir iestatīts izvēlnē *Prompt*. Kad aprēķins ir pabeigts, pārejas procesu stabilitātes rezultāti parādīsies *One-Line* diagrammā un tiks saglabāti izvades failā, ka arī *Plot* failā.

- **Pārejas procesu stabilitātes redaktora apraksts (*Transient Stability Study Case Editor Overview*)**

Pārejas procesu analīzei redaktors iekļauj regulējamus mainīgos risinājumus, slodzes nosacījumus, notikumu un darbību specifikācijas, mašīnu (ģeneratoru, dzinēju u.c.) modelēšanas atlasas un izejas atskaites, grafiku izvēles daudzveidību. Bez tam ETAPs ļauj radīt un saglabāt pētījumu neierobežotu skaitu.

Pārejas procesa stabilitātes aprēķins jāveic saskaņā ar iestatījumiem, kurus izvēlās pētījuma rīkjoslā (Study Case Toolbar), kā arī atskaitē jābūt noformētai atbilstoši izvēlei tajā. Kur var viegli pārslēgties starp dažādiem pētījumiem bez ārējas iejaukšanās pētījumu opcijās katru reizi. Šī īpašība tika izstrādāta, lai organizētu darbu un ietaupītu laiku.

Kā daļa no daudzdimensionālās ETAP datubāzes koncepcijas, pētījumi var būt izmantoti jebkurai kombinācijai no trim galvenajām sistēmas rīkjoslas komponentēm, t.i. jebkuras konfigurācijas statuss,

One-Line diagrammas prezentācijai un pamata/modificētiem datiem (Base/Revision Data).

Pārejas procesu stabilitātes analīzes režīmā var piekļūt pārejas procesa stabilitātes pētījuma redaktoram, nospiežot pogu Pētījumi (Study Case), kas atrodas pārejas procesa stabilitātes pētījuma rīkjoslā.

- **Informācijas lapa (*Info Page - Transient Stability Study Case Editor*)**

Dotā lapa ir paredzēta, lai precizētu dažu risinājumu parametrus un pētījuma informāciju.

- **Notikumu lapa (*Events Page - Transient Stability Study Case Editor*)**

Šī lapa ļauj izstrādāt un uzglabāt pārejas procesu stabilitātes scenārijus un notikumus, kā arī dažādus risinājumu parametrus. Notikumu laukā ir sekojošās iespējas:

- **Notikumi (*Events*)**

Šajā sarakstā visi lietotāju definētie notikumi tiek attēloti saraksta veidā, ievērojot laika kartību, lai radītu skaidru priekšstatu par notikumu iestāšanās secību. Aktīvi notikumi tiek atzīmēti ar '*' un atrodas saraksta sākumā, pēc tiem seko neaktīvie notikumi.

- **Notikumu nosaukums (*Event ID*)**

Notikumu ID ir unikāls nosaukums ar maksimālo garumu 12 simboli.

- **Laiks (*Time*)**

Tas ir laiks, kurā nedefinētie notikumi iestāsies. Laika vienības ir sekundes.

- **Pievienot notikumu (*Add Event*)**

Jauni notikumi var būt pievienoti nospiežot pogu *Add* (*Events* laukā), atvērot notikumu redaktoru.

- **Aktīvs (*Active*)**

Šīs opcijas izvēle, lai padarītu notikumu aktīvu. Atkārtoti nospiežot uz lodziņu notikumu var padarīt neaktīvu. Pētījumā būs iekļauti tikai aktīvie notikumi.

- **Rediģēt notikumu (*Edit Event*)**

Nospiežot uz pogu „rediģēt notikumu”, atvēršies notikumu redaktors ar esošo notikumu. Rediģēšanu var aktivizēt arī divreiz, nospiežot uz notikumu sarakstā.

- **Dzēst notikumu (*Delete Event*)**

Dzēst eksistējošo notikumu no saraksta, iekrāsojot un nospiežot pogu dzēst notikumu (*Delete Event*).

- **Darbības saraksts (*Action List*)**

Darbības sarakstā (*Action List*) var redzēt iespējamās darbības ar pētāmo elementu. Darbības tiek atjaunotas katru reizi, kad jauna darbība ir pabeigta. Informācija

no *Action List* ir arī pieejama darbības saraksta atskaitē (*Action Summary*). Darbību saraksts satur pilnu darbību sarakstu, kas ietver sevī noteiktās *Transient Stability Study Case* darbības. Nekorektās darbības ārpus sistēmas ierobežojumiem arī tiek parādītas sarakstā. Lai ievērotu sistēmas operāciju secību, var izmantot laika slīdni. Kreisais un labais rādītājbulstiņas taustiņš virza laika slīdni uz iepriekšējo/nākamo darbību vai iepriekšējo/nākamo *Plot* grafika punktu. Ir iespējamās sekojošās iespējas:

- **Darbība (*Action*)**

Šī opcija definē darbību, kas ir paredzēta atbilstošai ierīcei un tās tipam.

- **Pievienot darbību (*Add Action*)**

Jauno darbību var definēt, nospiežot *Add...* pogu un atvērot darbības redaktoru. Izvēlēties ierīces tipu no izvēlnes saraksta, atbilstošo ierīci no izvēlnes Ierīču ID

saraksta un nepieciešamo darbību no atbilstošā sarakstā.

- **Rediģēt darbību (*Edit Action*)**

Lai rediģētu esošo darbību, jānospiež Edit poga. Kā arī darbības rediģēšanu var veikt, divreiz nospiežot darbību sarakstā.

- **Dzēst darbību (*Delete Action*)**

Ļauj nodzēst eksistējošo darbību no saraksta.

- **Ierīces tips (*Device Type*)**

Ierīcei tips, kas veic darbību.

- **Risinājuma parametri (*Solution Parameters*)**

Šajā laukā, atkarība no uzdevuma un pieprasītas risinājuma precizitātes var mainīt risinājuma laiku (samazināt vai palielināt). Pastāv sekojošās iespējas:

- **Kopējais modelēšanas laiks (*Total Simulation Time*)**

Kopējais modelēšanas laiks pārejas procesu pētījumiem, [s]. Maksimāla vērtība modelēšanas laikam ir 9999 sekundes.

- **Modelēšanas laika solis (*Simulation Time Step*)**

Integrācijas laika solis pārejas procesu modelēšanai ir sekundēs. Jāievēro tas, ka soļa vērtībai jābūt mazākai nekā vismazākā laika sistēmas konstante, lai varētu aplūkot visas ierosinātāja un regulatora reakcijas.


Piezīme: Jo mazāks šis lielums ir, jo vairāk aprēķinu ir nepieciešams, tāpēc aprēķinu laiks palielinās atbilstoši izvēlētam lielumam. Rekomendējamā vērtība ir 0,001 sekunde. Ja ir nepieciešama augstāka precizitāte, tad šo vērtību var samazināt. Protams, ja integrācijas soļa laiks ir pārāk mazs, uzkrātā noapaļošanas kļūda var palielināties.


- **Grafika laika solis (*Plot Time Step*)**

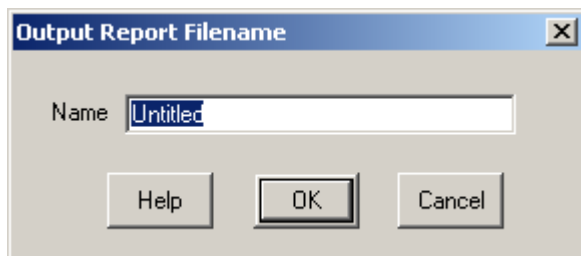
Grafika laika solis definē, kādi būs ETAP modelēšanas grafiku rezultāti. Jo mazāka ir vērtība, jo vienmērīgāki izskatīsies grafiki. Tajā pašā laikā jāatceras tas, ka *Plot* faila izmērs ir atkarīgs no izvēlēto elementu skaita *Plot* lapā, tādēļ tas var būtiski pieaugt to skaitam, kā arī no laika izvēles. Maksimāla vērtība dotam laikam ir 1000s.

Lai aplūkotu rezultātus grafiskajā veidā, jāizmanto pārejas procesu stabilitātes funkciju grafiku bloks (*Transient Stability Plots*). Nospiežot uz *Transient Stability Plots* pogu, var izvēlēties un attēlot grafiskas līknes no pēdēja *Plot* faila. *Plot* faila nosaukums parādīs *Study Case Toolbar*.

Praktiskā daļa

Pārejas procesu analīzes modulis (*Transient Stability Analysis Mode*) 

Lai sāktu darbu ar šo moduli, jānospiež *Run Transient Stability* poga . Rezultātā parādīsies logs (2.1. att.), kurā jāievada nosaukums (Vārds_Uzvārds) un jānospiež OK.



2.1. att. Pārejas procesu atskaites nosaukums

Kļūdu loga parādīšanās ļauj secināt, ka tas ir saistīts ar ģeneratoru un sistēmas elementu parametru datu nepietiekamību pārejas procesu modelēšanai (2.2.att.).

```

Error report for OLVI
Error 305-01: [Gen1] Syn. gen. X/R ratio equals 0.
Error 309-01: [Gen1] Syn. gen. transient reactance Xd' equals 0.
Error 310-01: [Gen1] Syn. gen. direct-axis transient open circuit time constant (Tdo') equals 0. The subtransient dynamic model needs to be selected to eni
Error 312-01: [Gen1] Syn. gen. direct-axis reactance Xd equals 0.
Error 315-01: [Gen1] Syn. gen. quadrature-axis reactance Xq equals 0.
Error 318-01: [Gen1] Syn. gen. armature leakage reactance Xl equals 0.
Error 321-01: [Gen1] Syn. gen. saturation factor S100 >= S120.
Error 322-01: [Gen2] Syn. gen. saturation factor S100 <= 1.
Error 323-01: [Gen1] Syn. gen. saturation factor S120 <= 1.
Error 324-01: [Gen1] Syn. gen. inertia equals 0.
Error 316-01: [Gen1] Syn. gen. quadrature-axis transient reactance Xq' equals 0.
Error 319-01: [Gen1] Syn. gen. quadrature-axis transient open circuit time constant, (Tqo') equals 0.
Error 306-01: [Gen1] Syn. gen. subtransient reactance Xd'' equals 0.
Error 317-01: [Gen1] Syn. gen. quadrature-axis subtransient reactance Xq'' equals 0.
Error 311-01: [Gen1] Syn. gen. direct-axis subtransient open circuit time constant (Tdo'') equals 0. The subtransient/transient dynamic model needs to be s
Error 320-01: [Gen1] Syn. gen. quadrature-axis subtransient open circuit time constant (Tqo'') equals 0.
Error 326-01: [Gen1] Syn. gen. Xd <= Xd'.
Error 327-01: [Gen1] Syn. gen. Xd' <= Xd''.
Error 328-01: [Gen1] Syn. gen. Xq <= Xq'.
Error 329-01: [Gen1] Syn. gen. Xq' <= Xq''.
Error 330-01: [Gen1] Syn. gen. Xd' <= Xd''.
Error 331-01: [Gen1] Syn. gen. Tdo' <= Tdo''.
Error 305-01: [Gen1] Syn. gen. Tqo' <= Tqo''.
Error 309-01: [Gen2] Syn. gen. X/R ratio equals 0.
Error 310-01: [Gen2] Syn. gen. transient reactance Xd' equals 0.
Error 312-01: [Gen2] Syn. gen. direct-axis transient open circuit time constant (Tdo') equals 0. The subtransient dynamic model needs to be selected to eni
Error 315-01: [Gen2] Syn. gen. direct-axis reactance Xd equals 0.
Error 318-01: [Gen2] Syn. gen. quadrature-axis reactance Xq equals 0.
Error 321-01: [Gen2] Syn. gen. armature leakage reactance Xl equals 0.
Error 322-01: [Gen2] Syn. gen. saturation factor S100 >= S120.
Error 323-01: [Gen2] Syn. gen. saturation factor S100 <= 1.
Error 324-01: [Gen2] Syn. gen. saturation factor S120 <= 1.
Error 326-01: [Gen2] Syn. gen. inertia equals 0.
Error 316-01: [Gen2] Syn. gen. quadrature-axis transient reactance Xq' equals 0.
Error 319-01: [Gen2] Syn. gen. quadrature-axis transient open circuit time constant, (Tqo') equals 0.
Error 306-01: [Gen2] Syn. gen. subtransient reactance Xd'' equals 0.
Error 317-01: [Gen2] Syn. gen. quadrature-axis subtransient reactance Xq'' equals 0.
Error 311-01: [Gen2] Syn. gen. direct-axis subtransient open circuit time constant (Tdo'') equals 0. The subtransient/transient dynamic model needs to be s
Error 320-01: [Gen2] Syn. gen. quadrature-axis subtransient open circuit time constant (Tqo'') equals 0.
Error 326-01: [Gen2] Syn. gen. Xd <= Xd'.
Error 327-01: [Gen2] Syn. gen. Xd' <= Xd''.
Error 328-01: [Gen2] Syn. gen. Xq <= Xq'.
Error 329-01: [Gen2] Syn. gen. Xq' <= Xq''.
Error 330-01: [Gen2] Syn. gen. Xd' <= Xd''.
Error 331-01: [Gen2] Syn. gen. Tdo' <= Tdo''.
Error 204-01: [U1] Power grid X/R ratio for positive-sequence impedance equals 0.
Error 205-01: [U1] Power grid positive-sequence reactance is less than or equal to 0.

```

2.2. att. Kļūdu logs

Elementu datu papildināšana ar parametriem, kas ir nepieciešami pārejas procesu modelēšanai

Šajā gadījumā, lai novērstu kļūdas, divreiz jānospiež ģenerators simbols un izvēlēties Imp/Model lapu (*Impedance/Model Page*) (2.3. un 2.4. att.). Šajā lapā jāizvēlas dinamiskā modeļa tips **Transient** un jānospiespiež *Typical Data* poga procesu vienkāršošanai. Tā rezultātā visi tukšie lauki tiks aizpildīti automātiski, izmantojot standarta lielumus no ETAP bibliotēkas. Tas pats jāatkārto arī otrajam ģeneratoram. Papildus ģeneratoram G1 izvēlēsimies *Type* laukā tipu **Turbo** (*Gen.*), **Round – Rotor** (*Rotor*), bet G2 *Type* laukā tipu **Hydro** (*Gen.*), **Salient – Pole** (*Rotor*).

Rekomendācijas:

Nākamais solis ir Inerces lapas (*Inertia page*) lauku aizpildīšana. 2.5. un 2.6. attēlā ir redzamas pirmā un otrā ģenerators inerces lapas. Tā pirmajam ģeneratoram apgriezienu skaits minūtē (RPM - revolutions per minute) ir **3000** apgr./min., bet otrajam – **200** apgr./min.

Synchronous Generator Editor - Gen1

Protection | PSS | Harmonic | Reliability | Fuel Cost | Remarks | Comment
 Info | Rating | Capability | Imp/Model | Grounding | Inertia | Exciter | Governor

20 kV 200 MW Voltage Control

Impedance

			%	Ohm	
Xd''	19	Xd''/Ra	19	Ra	0,016
X2	18	X2/R2	9	R2	0,032
Xo	7	X0/R0	7	R0	0,016

Xd'' Tolerance: + 0 %

Inertia: H 148,12

Dynamic Model

	%	%	Sec.	
<input type="radio"/> Subtransient	Xd 155	Xq 155	Tdo' 6,5	Sbreak 0,8
<input checked="" type="radio"/> Transient	Xdu 165	Xqu 165		S100 1,07
<input type="radio"/> Equivalent	Xd' 28	Xq' 65	Tqo' 1,25	S120 1,18
<input type="button" value="Typical Data"/>	X _L 15			Damping 0

Type

Gen. Turbo
 Rotor Round-Rotor

IEC 60909 S.C.

Exciter Type Turbine 130%
 Compound Exc. PG 7,5

Gen1 OK Cancel

2.3. att. Pirmā ģeneratora Imp/Model lapa

Synchronous Generator Editor - Gen2

Protection | PSS | Harmonic | Reliability | Fuel Cost | Remarks | Comment
 Info | Rating | Capability | Imp/Model | Grounding | Inertia | Exciter | Governor

20 kV 400 MW Voltage Control

Impedance		%		Ohm		Xd' Tolerance		
Xd''	19	Xd''/Ra	19	Ra	1	Ra	0,008	+ 0 %
X2	18	X2/R2	9	R2	2	R2	0,016	Inertia H 0,197
Xo	7	X0/R0	7	R0	1	R0	0,008	

Dynamic Model

	%		%		Sec.			
<input type="radio"/> Subtransient	Xd	155	Xq	155	Td0'	6,5	Sbreak	0,8
<input checked="" type="radio"/> Transient	Xdu	165	Xqu	165			S100	1,07
<input type="radio"/> Equivalent	Xd'	28	Xq'	155			S120	1,18
Typical Data	X _L	15					Damping	0

Type

Gen. Hydro

Rotor Salient-Pole

IEC 60909 S.C.

Exciter Type Salient Pole 160%

Compound Exc. PG 7,5

Gen2

OK Cancel

2.4. att. Otrā ģeneratora Imp/Model lapa

Synchronous Generator Editor - Gen1

Protection	PSS	Harmonic	Reliability	Fuel Cost	Remarks	Comment
Info	Rating	Capability	Imp/Model	Grounding	Inertia	Exciter Governor

20 kV 200 MW Voltage Control

Prime Mover — Coupling Gear — Generator

Inertia Calculator

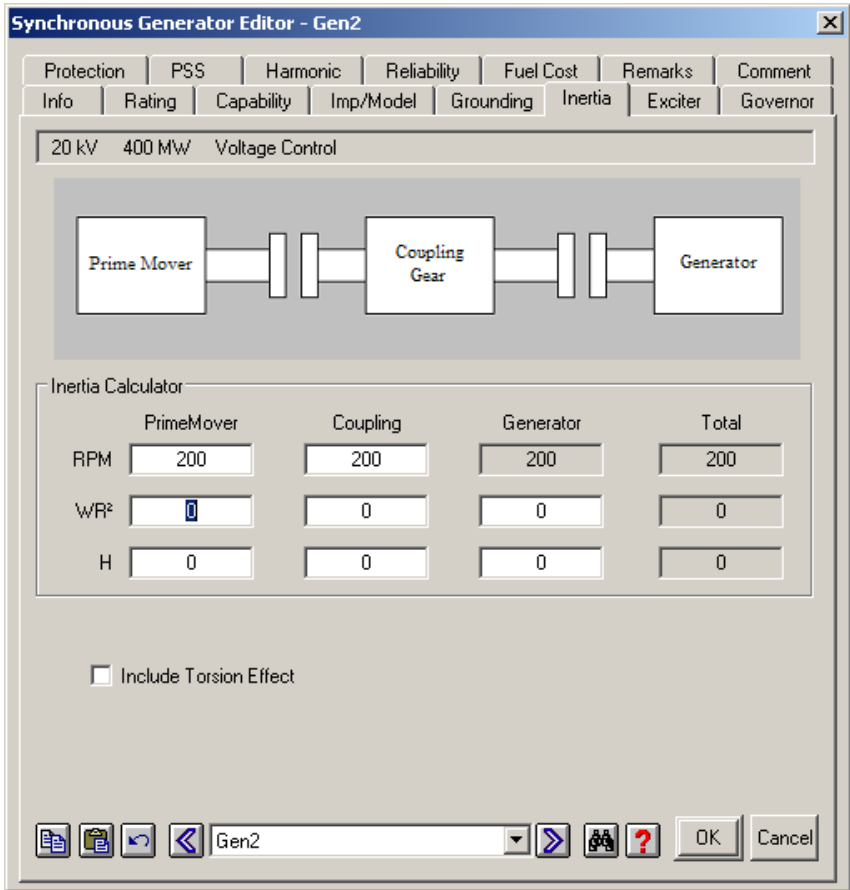
	PrimeMover	Coupling	Generator	Total
RPM	3000	3000	3000	3000
WR ²	0	0	0	0
H	0	0	0	0

Include Torsion Effect

Gen1

OK Cancel

2.5. att. Pirmā ģenerators Inerces lapa (*Inertia*)



2.6. att. Otrā ģeneratora Inerces lapa (*Inertia*)

Laboratorijas darba ietvaros jāpapildina arī dati turbīnai (PrimerMover) un ģeneratoram (Generator) ar rotējošo daļu svaru un inerces rādiusa kvadrātu WR^2 (WR^2 – product of weight of revolving parts and the square of the

radius of gyration). Pirmajam ģeneratoram izvēlēsimies turbīnas $WR^2 = 10\ 000\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$ un ģenerators $WR^2 = 15\ 000\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$, kā rezultātā ETAP automātiski tiek aprēķināta inerces konstante H (MW-sec/MVA). Otrajam ģeneratoram analogiski: turbīnas WR^2 ir vienāds ar $4.5 \cdot 10^6\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$ un ģeneratoram $WR^2 = 11.4 \cdot 10^6\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$.


Kad visi dati ir ievadīti, tie jāapstiprina, nospiežot OK pogu.

Pēc ģeneratoru datu ievadīšanas uzmanība jāpievērš enerģosistēmas datiem. Divreiz nospiežot uz enerģosistēmas elementu, atvērsies *Power Grid Editor – Utility* logs, kurā jānospiež *Rating* lapa. Šajā lapā rekomendējam ievadīt X/R attiecību **100** un īsslēguma jaudu **6 000 MVA_{sc} SC Rating** laukā (3 – Phase) (2.7. att.).

Power Grid Editor - U1

Info | Rating | Harmonic | Reliability | Energy Price | Remarks | Comment

330 kV Swing

Rated kV:  Balanced Unbalanced

	Gen. Cat.	%V	Vangle	MW	Mvar	%PF	Qmax	Qmin
1	Design	100	0					
2	Normal	100	0					
3	Shutdown	100	0					
4	Emergency	100	0					
5	Standby	100	0					
6	Startup	100	0					

Operating

% V: Vangle: MW: Mvar:

SC Rating

	MVA _{sc}	X/R	kA _{sc}
3-Phase	<input type="text" value="6000"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="10,497"/>
1-Phase	<input type="text" value="6000"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="10,497"/>

SC Imp. (100 MVA base)


	% R	% X
Pos.	<input type="text" value="0,01667"/>	<input type="text" value="1,66658"/>
Neg.	<input type="text" value="0,01667"/>	<input type="text" value="1,66658"/>
Zero	<input type="text" value="0,01667"/>	<input type="text" value="1,66658"/>

U1

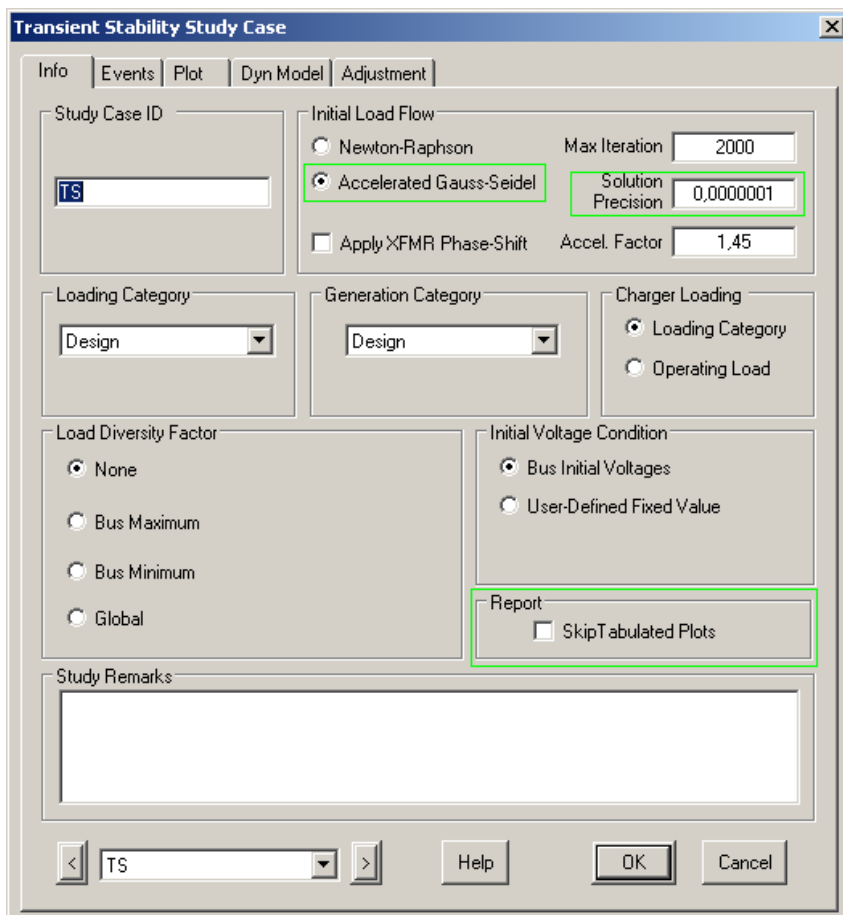
OK Cancel

2.7. att. Energosistēmas datu papildināšana

Bojājumu modelēšana

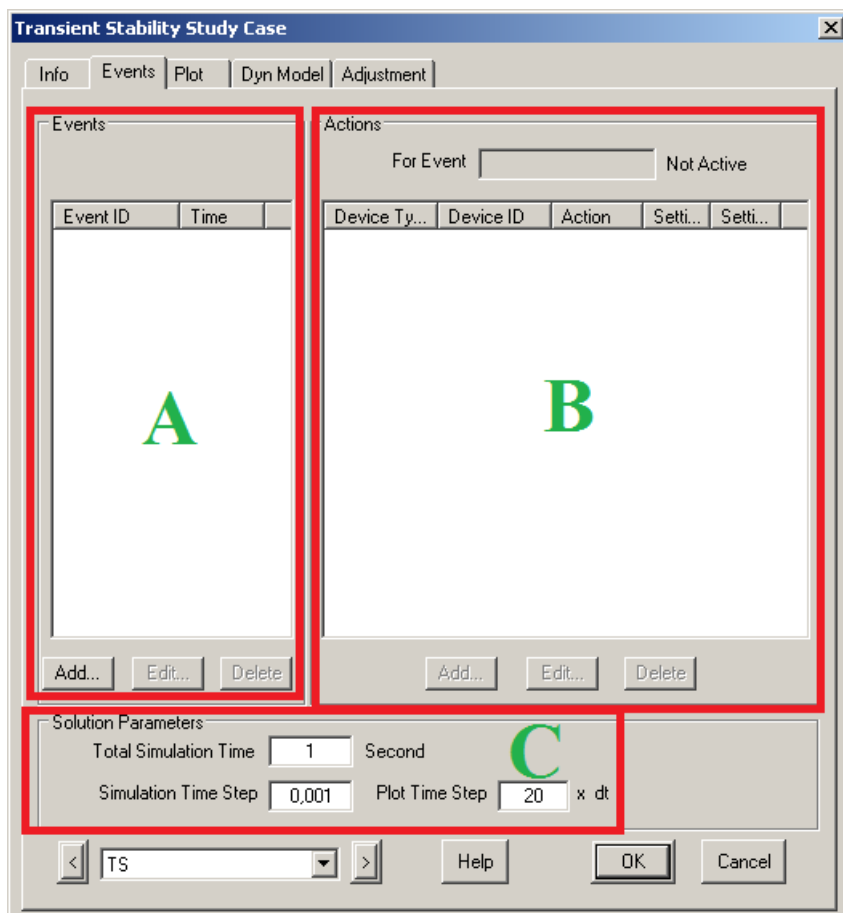
Nospiežot uz *Edit Study Case* ikonu , atvērsies *Transient Stability Study Case* logs. *Info* lapā (2.8. att.), kurā jāizvēlas paātrinātā Gausa – Zeideļa metode (*Accelerated*

Gauss – Seidel) ar precizitāti 10^{-5} (*Solution Precision*). Lai iegūtu grafiskus attēlus, jānoņem ķeksītis no „*SkipTabulated Plots*”.



2.8. att. Informācijas lapa

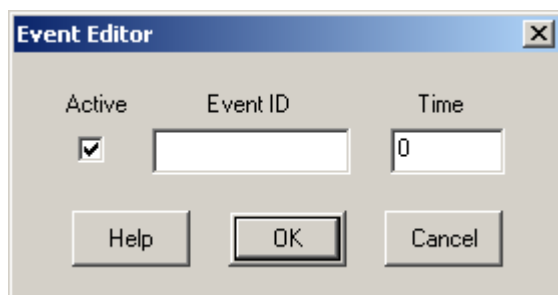
Tālākā uzmanība jāpievērš notikumu lapai (*Events*) (2.9. att.), kas sastāv no 3 daļām A, B, C (A – notikumi (*Events*), B – darbības (*Actions*) un C – risinājuma parametri (*Solution Parameters*)).



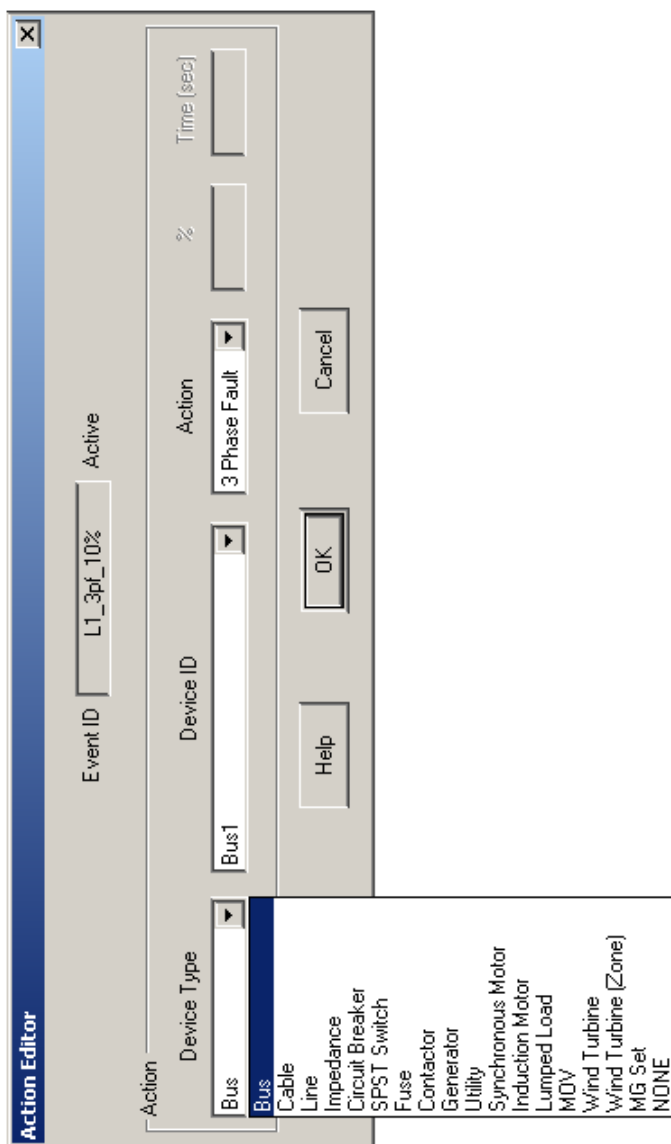
2.9. att. Notikumu lapa

Padziļināti aplūkosim katru no tiem:

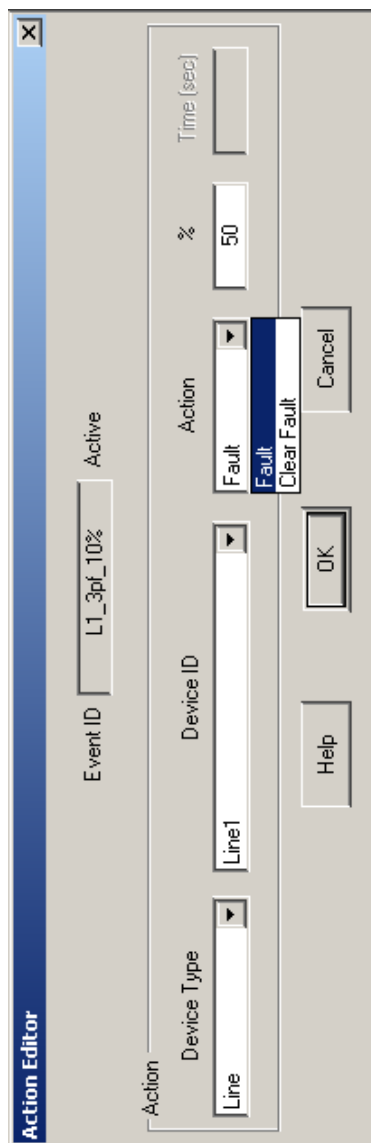
- Lai izveidotu notikumu, jānospiež Add... poga *Events* logā (2.9. att. A). Rezultātā parādīsies logs (2.10. att.), kurā jāievada notikuma nosaukums un laiks. Lai apstiprinātu ievadīto informāciju, jānospiež OK poga.
- Kad notikums ir izveidots, Darbības laukā jānospiež Add... (2.9.att. B) poga. Parādīsies logs (2.11. att.), kurā jāizvēlas elements, kuram tiks piemērotas noteiktās darbības. No šī saraksta jāizvēlas līnija (Line) un tās nosaukums (Device ID) atbilstoši norādītajam variantam, ka arī bojājuma vieta % (2.12. att.). Jāapstiprina veiktās darbības, nospiežot OK.



2.10. att. Notikuma apraksta logs



2.1.1. att. Darbības redaktora ierīču saraksts



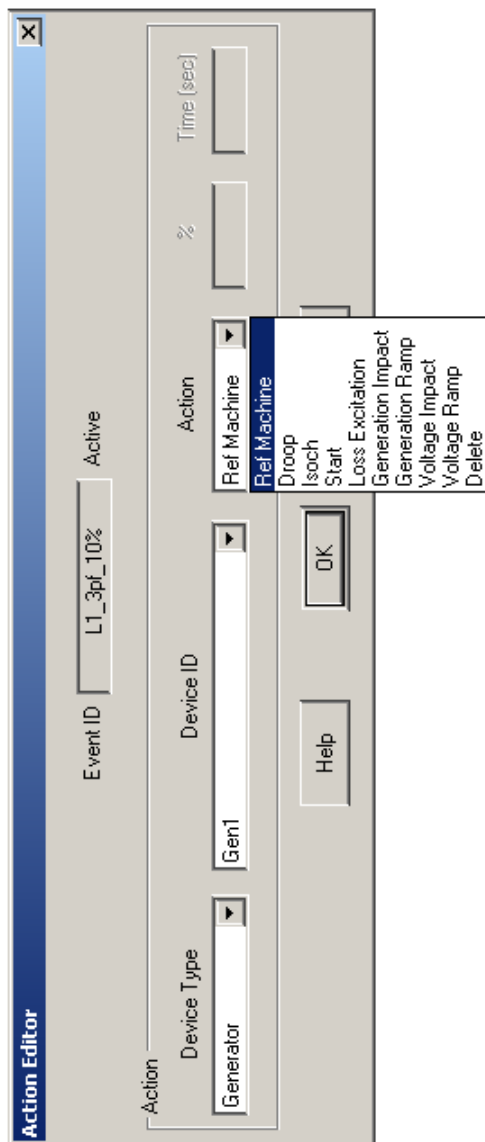
2.12. att. Iespējamās darbības ar līniju

Nākamais solis ir bojājuma atslēgšana. Šim gadījumam jāizveido vēl viens notikums *Events* laukā, nospiežot **Add...** pogu un atkārtojot agrāk minētās operācijas, šoreiz darbības redaktorā (*Action Editor*) izvēloties darbību *Clear Fault*. Bojājums notiek 0,3 sekundēs, bet tā atslēgšana notiek pēc 0,4 sekundēm.

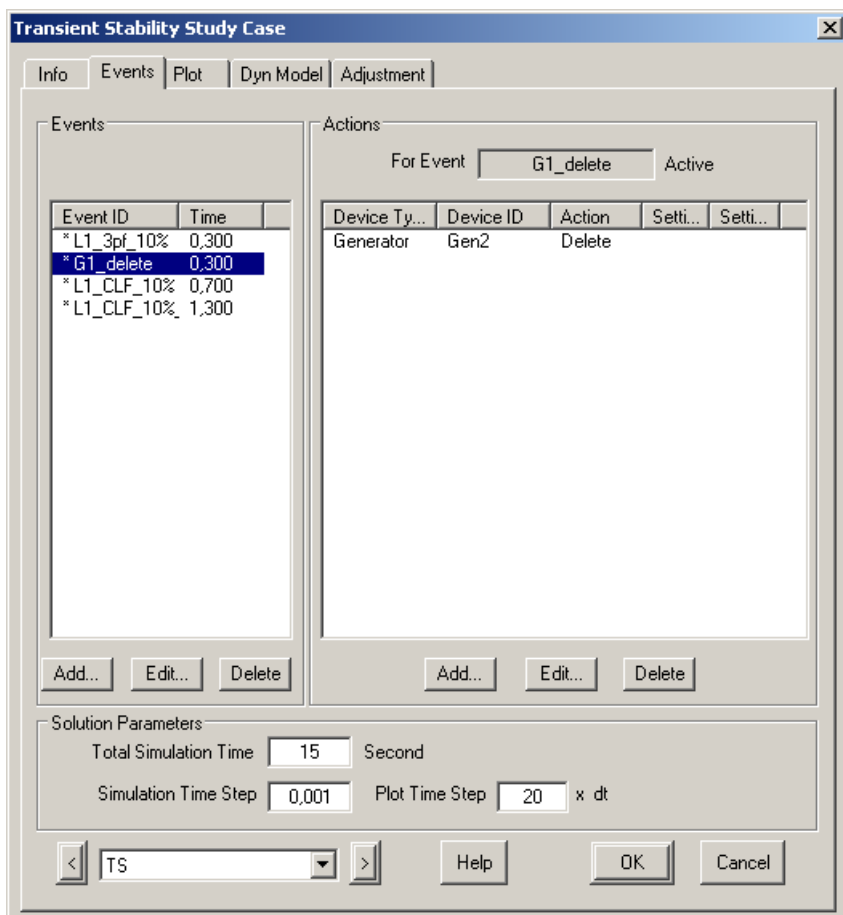
Pēc tam, jāizveido trešais notikums - ģeneratoru atslēgšana. Lai to izdarītu, jānospiež **Add...** poga *Events* laukā, ievadīt notikuma nosaukumu un laiku, beigās nospiežot OK. Šim notikumam jāizveido atbilstošā darbība, t.i. *Actions* lapā jāizvēlas ierīces tips (2.11. att.), tās nosaukums un darbība (*Delete*) (2.13. att.). Lai apstiprinātu izveidoto izvēli, jānospiež OK.

Papildus jāizveido ceturtais notikums *Events* laukā ar palielināto bojājuma atslēgšanas laiku atbilstoši savam variantam. Notikumus var padarīt kā aktīvus tā arī neaktīvus* (noņemot ķeksīti) (2.10. att.) *Event Editor* logā.

***Piezīme:** Pēc noklusējuma visi notikumi doti kā aktīvi (2.14. att.).



2.13. att. Iespējamās darbības ar ģeneratoru




2.14. att. Notikumi un darbības


Pēdējais, kas ir jāizdara šajā logā ir kopējo simulācijas laiku ievadīšana (*Total Simulation Time*), (pieņemsim, ka tā

sastāda 15 sekundes), un jāapstiprina izvēlētie notikumi un darbības, nospiežot OK pogu (2.14. att.).


Scenāriju pārbaude un sākuma datu eksportēšana

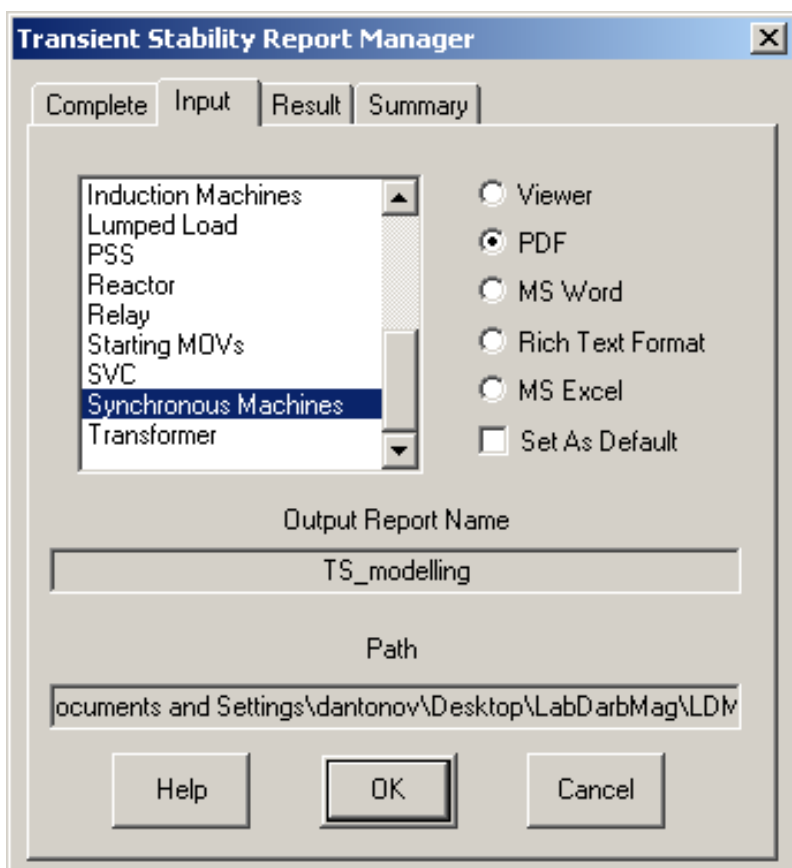
Lai pārbaudītu veikto darbību pareizību, jānospiež *Run*

Transient Stability poga . Rezultātā sāksies aprēķinu process, kas aizņem noteiktu laiku. Kad šis process beigsies, jāeksportē informācija par ģeneratoriem un sistēmu, nospiežot

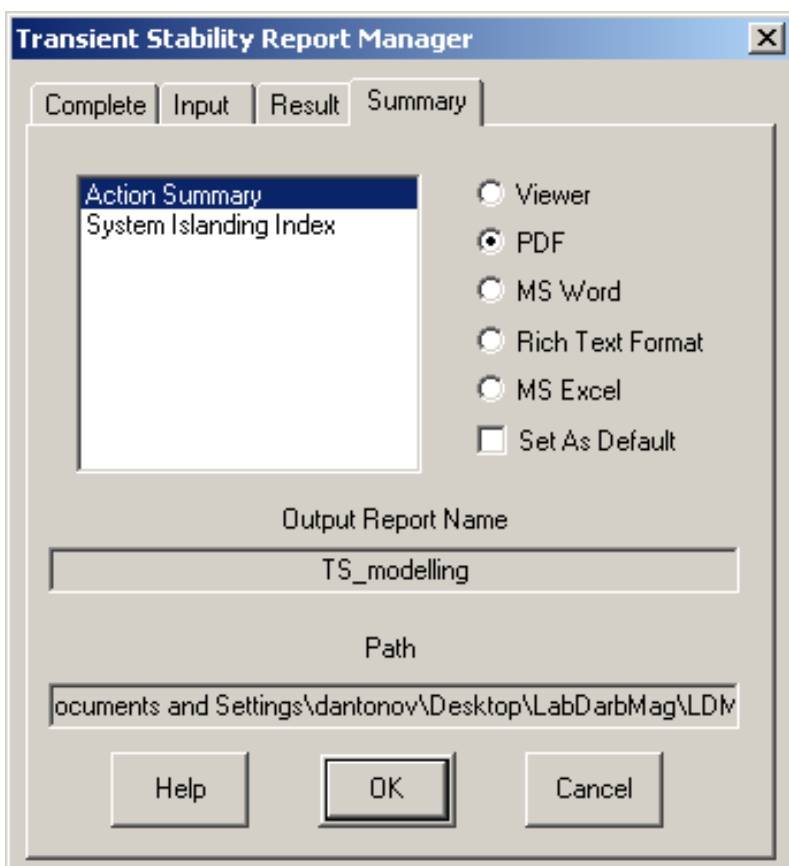
Report Manager pogu . Parādīsies *Transient Stability Report Manager*, kurā jāizvēlas *Input* lapa, no kuras jāeksportē *Synchronous Machines* atskaite **PDF** formātā (2.15. att.).

Tapāt, izmantojot *Transient Stability Report Manager*, jāveic darbības apraksta eksportēšana. Lai to izdarītu,

jānospiež *Report Manager* poga , izvēloties *Summary* lapa, kurā jāizvēlas *Action Summary* atskaite **PDF** formātā (2.16. att.). **Kad divas atskaites ir eksportētas, jāgriežas pie pasniedzēja pēc ievadīto datu pārbaudes.**



2.15. att. Ģeneratoru datu eksportēšana

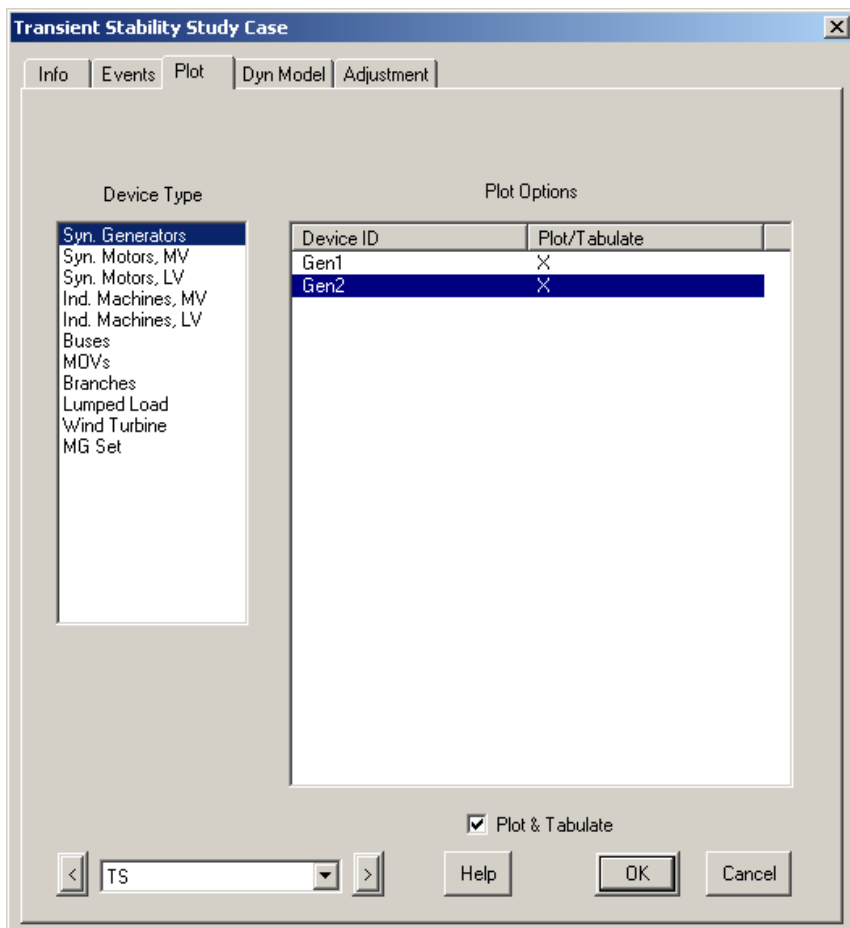


2.16. att. Darbības atskaites eksportēšana

Pētījuma elementu izvēle

Nākamajā etapā jāaktivizē tikai divi notikumi *Events* (2.14.att.) laukā, divreiz nospiežot uz pārējiem notikumiem un

noņemot ķeksīšus *Active*. Pēc tam jānospiež *Plot* lapa (2.17. att.), kurā jāizvēlas pētāmie elementi, nospiežot ar peles kreiso pogu *Plot/Tabulate* kolonnā.




2.17. att. Pētāmo elementu attēlošanas lapa

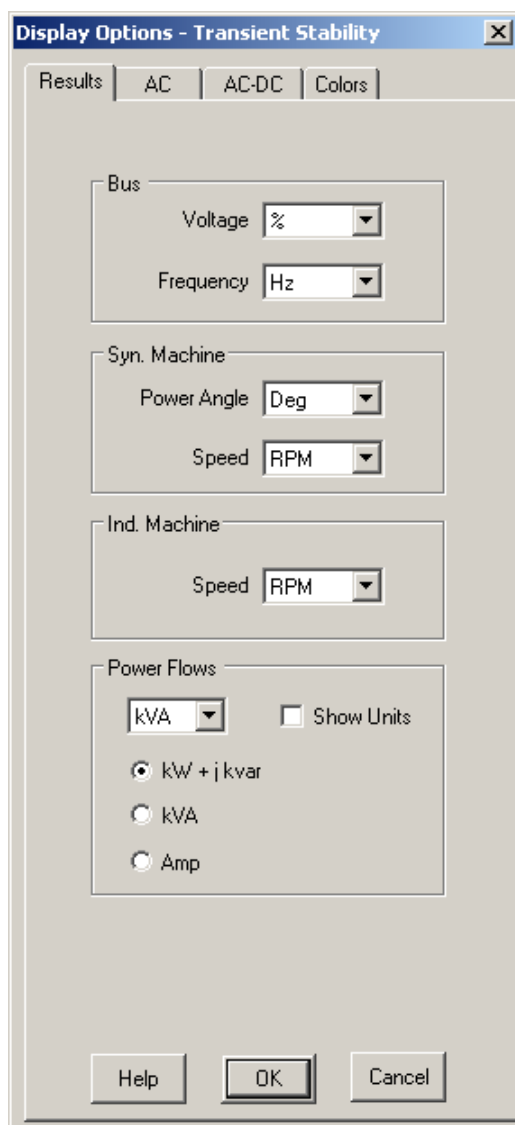
Šī laboratorijas darbā ietvaros pētāmie elementi ir: ģeneratori Gen1, Gen2 un kopnes (Bus) Bus1, Bus2. Pēc visu elementu izvēles, jānospiež OK.

Scenāriju pētīšana un datu eksportēšana

Tagad jāpēta katrs bojājums atsevišķi atbilstoši uzradītam variantam (2.1. tabula). Lai to izdarītu, jāizvēlas bojātais elements un darbība (bojājums līnijā noteiktā vietā noteiktā laikā), ka arī (ja ir nepieciešams) notikums, kas novērš doto bojājumu (*Clear Fault*). Kad minētais ir izpildīts,


jānospiež *Run Transient Stability* poga  aprēķinu uzsākšanai. Rezultātā pētāmiem elementiem parādīsies aprēķināti dati. To attēlošanas veida izmaiņām jānospiež

Display Options poga ; rezultātā atvērsies 2.18. attēlā parādītais logs.




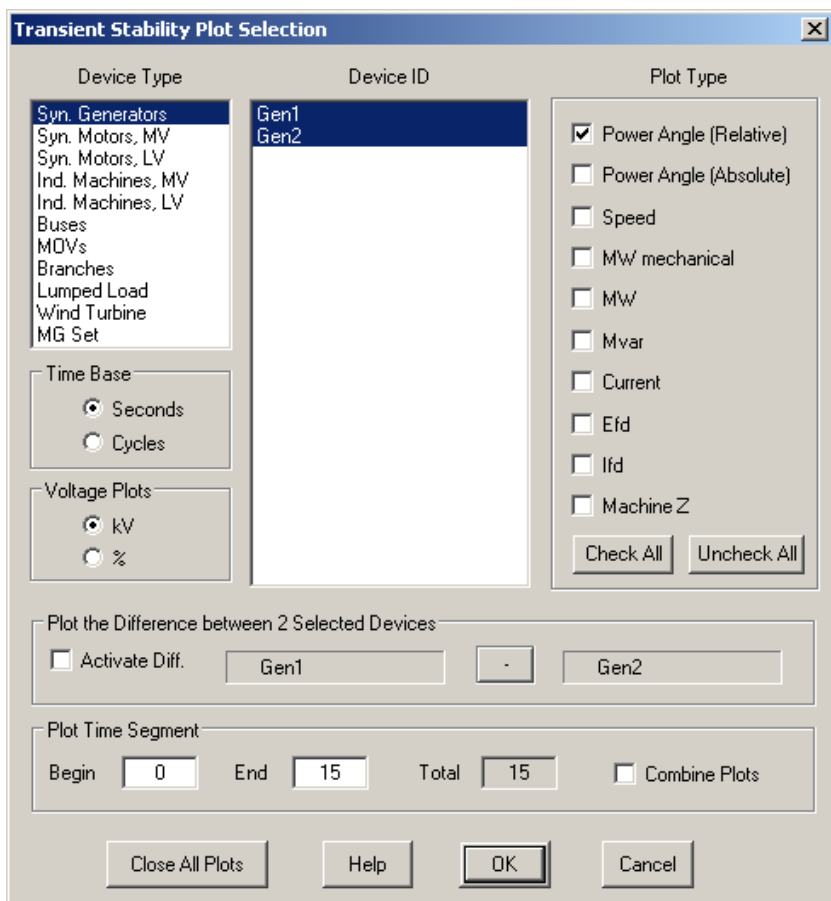
2.18. att. Display Options bloks pārejas procesu modulim

Šajā logā jāmaina dažu parametru attēlošanas veids: spriegums – kV un jauda (*Power Flows*) – MVA.

Pēc tā jānospiež *Plot* poga , kā rezultātā parādīsies logs (2.19. att.), kurā jāizvēlas relatīvs jaudas leņķis (*Power Angle (Relative)*) starp diviem ģeneratoriem un jānospiež OK poga. Pēc šīs operācijas tiks attēlots grafiks, kuru jāsavienā personīgā mapē.

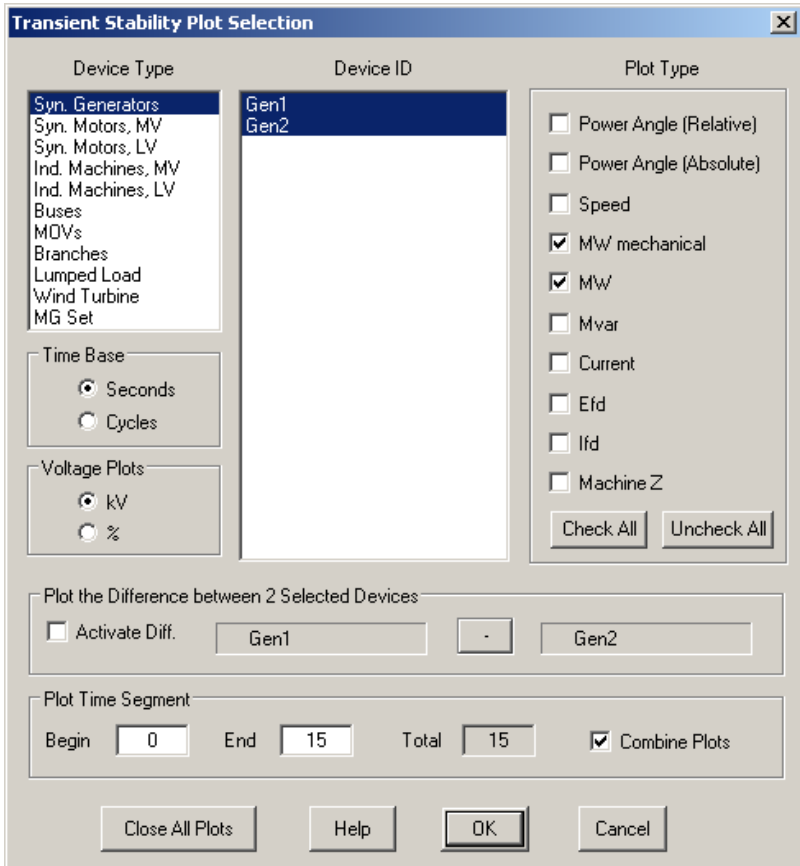
Nākamais solis ir ģeneratoru mehānisko un elektrisko pārejas procesu raksturlīkņu attēlošana. Lai to izdarītu,

jānospiež *Plot* poga , tiks attēlots logs (2.20. att.), kurā jāizvēlas sekojošās līknes: **MW mechanical** un **MW**, ievietojot ķeksīti *Combine Plots* un nospiežot OK.



2.19. att. Ģeneratora leņķa grafiki

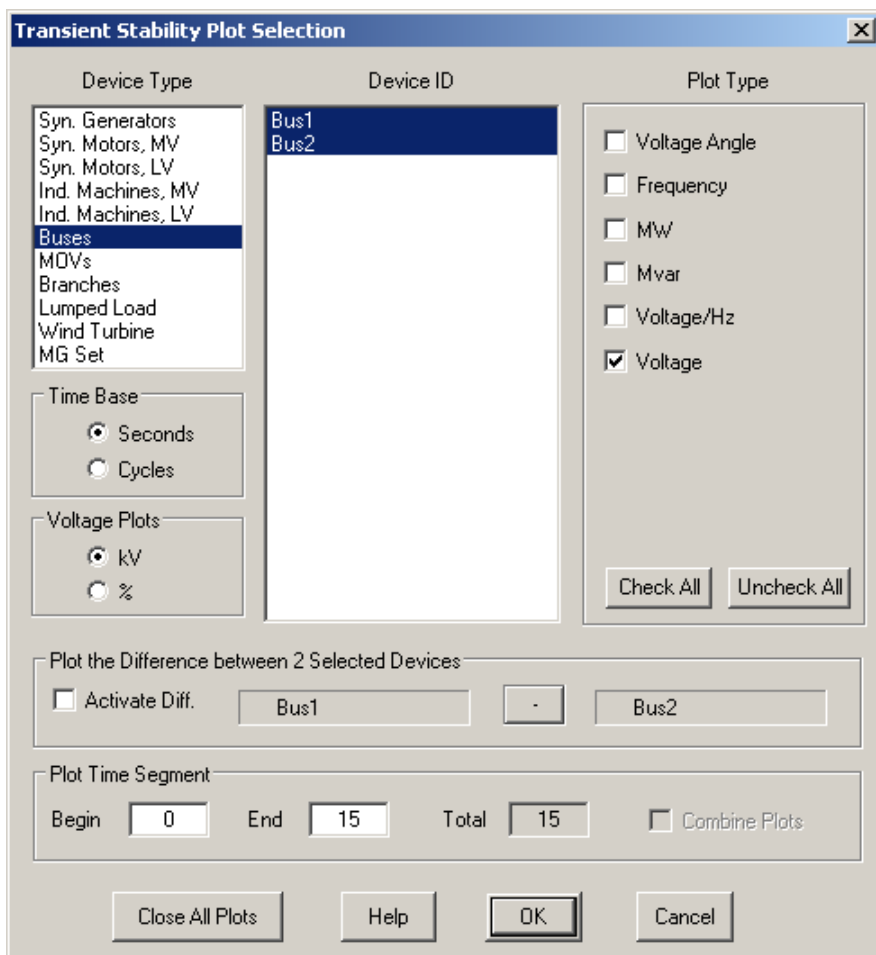
Rezultātā tiks attēlots grafiks ar divām ordinātu asīm.
Šis grafiks arī jāsavienā personīgā mapē.



2.20. att. Mehāniskie un elektriskie ģeneratoru jaudas grafiki

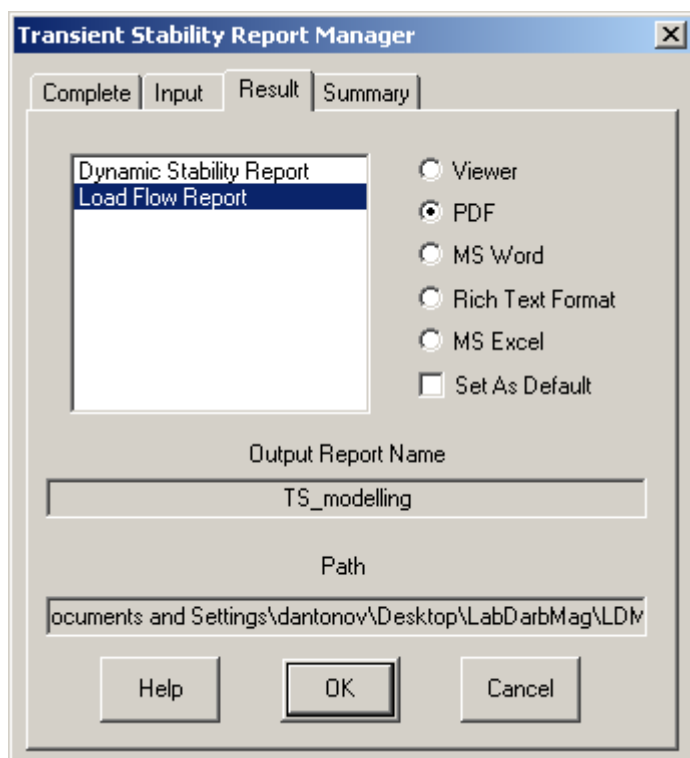
Lielākā uzmanība jāpievērš kopnes pārejas procesa parametriem: šajā laboratorijas darbā jāaplūko tikai spriegums uz kopnēm 1 un 2 (Bus1 un Bus2). Lai to izdarītu, jāizvēlas kopnes (**Buses**) no piedāvātā elementu saraksta, kas

rekomendējami laboratorijas darbā kā **Bus1** un **Bus2**, kuriem jāatstāj ķeksītis pirms **Voltage**, izvēloties sprieguma grafikus (*Voltage Plots*) **kV** mērvienībās un nospiežot OK (2.21.att.).




2.21. att. Kopņu sprieguma grafiku izvēle

Kā rezultātā atvērsies grafiku logs, kurā tiks attēlotas sprieguma izmaiņas pārejas procesu laikā divām kopnēm. Šis grafiks jā saglabā personīgā mapē.



2.22. att. Pārejas procesu atskaites bloka rezultātu lapa

Laboratorijas darba atskaitei ir arī nepieciešama atskaite par jaudas plūsmām pārejas procesu laikā. Lai to

izdarītu, jānospiež *Report Manager* poga , atvērsies logs, kurā jāizvēlas rezultātu lapa (*Result*) un jaudas plūsmas atskaite (*Load Flow Report*) (2.22. att.). Atskaitei jāizvēlas formāts, kas ir ieteicams kā PDF. Pēc tam jāaplūko personīgā mape, kurā jāizveido papildus mape šim notikumam. Šajā jaunizveidotā mapē jāiekopē šī notikuma visa saistītā informācija (viena PDF atskaite un 3 grafiki).

Līdzīgās operācijas jāatkārto katram notikumam. Visām izskatītām atskaitēm jāatrodas personīgā mapē, kas tika izveidota laboratorijas darba sākumā. Kopumā jābūt **6 atskaitēm PDF formātā** (**1. *Transient Stability Report Manager – Synchronous Machines*; 2. *Transient Stability Report Manager – Action Summary*; 3., 4., 5., 6. *Transient Stability Report Manager – Load Flow Report***) un **12 grafikiem**.

Bojājuma scenāriju modelēšanas variantu tabula

Varianta numurs	Elementa nosaukums un bojājuma veids
1	1. Line1: 10 % & 90% 2. Line1_10%: $\Delta t = +0.5s$ 3. G1: Delete
2	1. Line2: 10 % & 90% 2. Line2_10%: $\Delta t = +0.4s$ 3. G2: Delete
3	1. Line3: 10 % & 90% 2. Line3_90%: $\Delta t = +0.7s$ 3. G1: Delete
4	1. Line4: 10 % & 90% 2. Line4_10%: $\Delta t = +0.5s$ 3. G2: Delete
5	1. Line5: 10 % & 90% 2. Line5_90%: $\Delta t = +0.9s$ 3. G1: Delete
6	1. Line6: 10 % & 90% 2. Line6_10%: $\Delta t = +0.8s$ 3. G2: Delete
7	1. Line7: 10 % & 90% 2. Line7_90%: $\Delta t = +1.0s$ 3. G1: Delete
8	4. Line1: 10 % & 90% 5. Line1_10%: $\Delta t = +0.5s$ 6. G2: Delete
9	4. Line2: 10 % & 90% 5. Line2_10%: $\Delta t = +0.6s$ 6. G1: Delete

10	<ol style="list-style-type: none"> 4. Line3: 10 % & 90% 5. Line3_90%: $\Delta t = +0.7s$ 6. G2: Delete
11	<ol style="list-style-type: none"> 4. Line4: 10 % & 90% 5. Line4_10%: $\Delta t = +0.5s$ 6. G1: Delete
12	<ol style="list-style-type: none"> 4. Line5: 10 % & 90% 5. Line5_90%: $\Delta t = +0.9s$ 6. G2: Delete
13	<ol style="list-style-type: none"> 4. Line6: 10 % & 90% 5. Line6_10%: $\Delta t = +0.8s$ 6. G1: Delete
14	<ol style="list-style-type: none"> 4. Line7: 10 % & 90% 5. Line7_90%: $\Delta t = +1.0s$ 6. G2: Delete
15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Line7: 10 % & 90% 2. Line7_10%: $\Delta t = +1.0s$ 3. G1: Delete

Rezultāti un to analīze

- Analizēt ievadītos datus elementiem un salīdzināt ģeneratoru parametrus, īpašu uzmanību pievēršot inerces laika konstantei;
- Aplūkot katra notikuma ietekmi uz energosistēmas dinamisko stabilitāti;
- Salīdzināt katrus divus notikumus sava starpā un paskaidrot atšķirības pārejas procesu raksturā;
- Identificēt faktorus, kas būtiski ietekmē pārejas procesu raksturu.

SECINĀJUMI

Pēc laboratorijas darba izpildes, jāapkopo visa informācija un jāuzraksta izvērsti secinājumi par paveikto un sasniegto laboratorijas darba gaitā, veicot iegūto rezultātu detalizētu analīzi.

Noformējot laboratorijas darba atskaiti, teorētiskajā daļā jāaplūko teorētiskais pamatojums (īss teorētiskais apraksts dinamiskai stabilitātei, pārejas procesiem ģeneratoros utt.) un praktiskajā daļā jāveic saīsināts, kodolīgs apraksts, atbilstoši izpildītājiem uzdevumiem (ja ir nepieciešams, ar skaidrojumiem iekavās).

PDF atskaites jādrukā uz divām lappusēm.

PIELIKUMI

Atskaites forma

Atskaitē jāiekļauj sekojoši punkti (atskaites forma ir dota 2. pielikumā):

- priekšmeta un laboratorijas darba nosaukums, numurs;
- personīgā informācija (fakultāte, kurss, grupa, vārds uzvārds, stud. apl. numurs);
- laboratorijas darba mērķis;
- laboratorijas darba uzdevums;
- teorētiskā daļa;
- praktiskā daļa;
- rezultāti un to analīze;
- secinājumi;
- pielikumi (ETAP izdrukas).

ETAP programmatūras apraksts un vietnes:

http://www.eef.rtu.lv/doc/studiju_materiali/026.pdf

(CHAPTER 11 – 11.9 Generator (11.9.4. Imp/Model page, 11.9.5. Inertia page), CHAPTER 22 Transient Stability Analysis)

2.1. Pielikums

Laboratorijas darba atskaites forma

ELEKTROENERĢĒTISKO SISTĒMU STABILITĀTE

Energosistēmas pārejas procesu modelēšana ETAP vidē

Laboratorijas darbs № 2

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

1. kurss

GRUPA

Vārds UZVĀRDS

Stud. apl. numurs

Laboratorijas darba mērķis

.....

Laboratorijas darba uzdevums

.....

Teorētiskā daļa

.....

Praktiskā daļa

.....

Rezultāti un to analīze

.....

Secinājumi

.....

Pielikumi (ETAP izdrukas)

BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

PAMATLITERATŪRA

1. Elektromehāniskie pārejas procesi elektriskās sistēmas.
I. Zicmanes redakcijā. Rīga, RTU izdevniecība, 2012.
– 402 lpp.
2. ETAP® 5.5 User Guide, Operation Technology, Inc.,
2006. – 3386 p.
(http://www.eef.rtu.lv/doc/studiju_materiali/026.pdf)

PAPILDLITERATŪRA

3. В. А. Веников, Переходные электромеханические процессы в электрических системах, Москва, 1985,
– 536 с.
4. П. С. Жданов, Вопросы устойчивости электрических систем, Москва, – 233 с.