

# OPTIMASI PENGATURAN PEMBANGKITAN DAYA REAKTIF MENGUNAKAN TAP CHANGER TRANSFORMER UNTUK MEMINIMALISASI RUGI-RUGI DAYA AKTIF SISTEM 150 kV SUMBAR-RIAU

Cahayahati

Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta Padang  
Jalan Gajah Mada No. 19 Olo Nanggalo Padang 25143  
Telp/fax. (0751) 51341-54257

## Abstract

*This paper out tell optimistic technique delivery of power to get minimum power loss by arranging Tap Changer Transformer at line. Optimistic Delivery of active and reactive power needed to minimize power loss is so that got by economic operating expenses from an power system. The reactive power optimistic more is difficult solved to be compared to active power which owning many complex link between variable. Correct power reactive allocation in system can yield optimum condition that is condition of where minimum transmission loss. To get optimum condition in this paper out is done by arrangement of reactive power by Tap Changer Transformer change positian, so that assess tension at busbar come near is samely. Arrangement of tap transformer in principle is change line admitansi value, so that minimum line loss. Calculation of Power flows system used by Newton Raphson method with Sumbar-Riau power system application 15 bus 16 line.*

**Keyword :** Loss minimize, tap changer transformer, Newton Raphson

## 1. Pendahuluan

Mutu suatu sistem tenaga listrik ditentukan dari variasi nilai tegangan dan frekuensi. Fluktuasi nilai tegangan dalam sistem sangat mempengaruhi besarnya rugi-rugi daya pada jaringan. Keseimbangan nilai tegangan pada sistem menghasilkan aliran daya yang optimum sehingga rugi-rugi daya pada saluran transmisi minimum.

Untuk mengurangi rugi-rugi daya dan menyeimbangi tegangan sistem agar pendistribusian daya reaktif optimum dapat dilakukan pengontrolan.. Pengontrolan yang dilakukan dengan mengatur besarnya pembangkitan atau pengurangan daya reaktif melalui perubahan posisi tap transformer, injeksi daya reaktif (VAR) dan tegangan dari generator.

Sudah ada beberapa metode yang membahas masalah optimalisasi daya reaktif pada sistem. Hal ini sangat dipengaruhi oleh berbagai pertimbangan terhadap kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode

yang ada. Pada makalah ini teknik untuk menyelesaikan masalah optimasi daya reaktif pada sistem dengan pemasangan Tap Changer Transformer berdasarkan hasil perhitungan rugi-rugi daya saluran yang terbesar.

## 2. Minimalisasi Rugi-Rugi Daya Aktif

### 2.1. Aliran Daya Dengan Newton Raphson

Agar daya aktif dan reaktif yang dibangkitkan sampai di pusat-pusat beban digunakan jaringan transmisi. Mengalirnya daya aktif dan reaktif pada transmisi untuk jarak cukup jauh akan menimbulkan rugi-rugi daya dan ketidakseimbangan tegangan antar bus pada sistem.

Penyelesaian aliran dengan metoda Newton Raphson persamaan daya aktif dan reaktif pada bus p dinyatakan :

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p| |Y_{pq}| |V_q| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad 1$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p| |Y_{pq}| |V_q| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad 2$$

Persamaan daya aktif dan reaktif yang mengalir pada transmisi dinyatakan dalam hubungan :

$$P_{pq} - Q_{pq} = E_p^*(E_p - E_q)y_{pq} + E_p^*E_p \frac{y_{pq}^*}{2} \dots 3$$

Persamaan 3 memperlihatkan daya aktif P dan reaktif Q mengalir dari bus p ke bus q. Untuk daya aktif dan reaktif yang mengalir dari bus q ke bus p dengan hubungan berikut :

$$P_{qp} - Q_{qp} = E_q^*(E_q - E_p)y_{pq} + E_q^*E_q \frac{y_{pq}^*}{2} \dots 4$$

Berdasarkan aliran daya pada saluran antara bus p dan q kita dapat menyelesaikan aliran daya pada sistem. Hasil perhitungan persamaan aliran daya dapat digunakan untuk menentukan rugi-rugi daya pada saluran antara bus p dan q.

## 2.2 Rugi-Rugi Daya Pada Saluran

Untuk mendapatkan rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada saluran transmisi antara bus p dan q adalah :

$$P_{\text{rugi-rugi}} = P_{pq} + P_{qp} \dots \dots \dots 5$$

$$Q_{\text{rugi-rugi}} = Q_{pq} + Q_{qp} \dots \dots \dots 6$$

Jika nilai tegangan antara bus p dan q seimbang, maka rugi-rugi pada saluran kecil. Begitu sebaliknya jika perbedaan tegangan antara bus p dan q cukup besar maka rugi-rugi pada saluran akan besar.

## 2.3 Pengaturan Daya Reaktif

Usaha pengaturan yang digunakan secara umum untuk mengatur daya reaktif dan tegangan sebagai berikut :

1. Perubahan tap transformer
2. Perubahan tegangan generator
3. Kompensasi daya reaktif

Persamaan 5 dan 6 adalah persamaan rugi-rugi daya dengan fungsi non linear antara rugi-rugi daya terhadap nilai tegangan bus dan dipakai sebagai fungsi tujuan (*objective function*) untuk meminimalkan rugi-rugi daya saluran.

Fungsi-fungsi batasan sebagai syarat minimalisasi yang muncul adalah batasan besarnya tegangan bus dan besarnya kemampuan pembangkitan daya reaktif pada bus generator :

$$V_{p-q}^{\min} \leq V_{p-q} \leq V_{p-q}^{\max} \dots \dots 7$$

$$Q_p^{\min} \leq Q_p \leq Q_p^{\max} \dots \dots 8$$

Hubungan antara perubahan pembangkitan daya reaktif terhadap perubahan tegangan juga dipandang sebagai hubungan non linear. Persamaan injeksi daya reaktif pada setiap bus pembangkit berdasarkan persamaan 2.

Pada tulisan ini pengaturan nilai daya reaktif dan tegangan pada bus menggunakan tap changer transformer pada saluran untuk meminimalisasi rugi-rugi daya aktif pada sistem tenaga.

## 2.4 Algoritma Metoda Newton Raphson

Algoritma penyelesaian optimasi pengaturan pembangkitan daya reaktif dengan Tap Changer Transformer agar rugi-rugi daya aktif minimum dengan metoda Newton Raphson sebagai berikut:

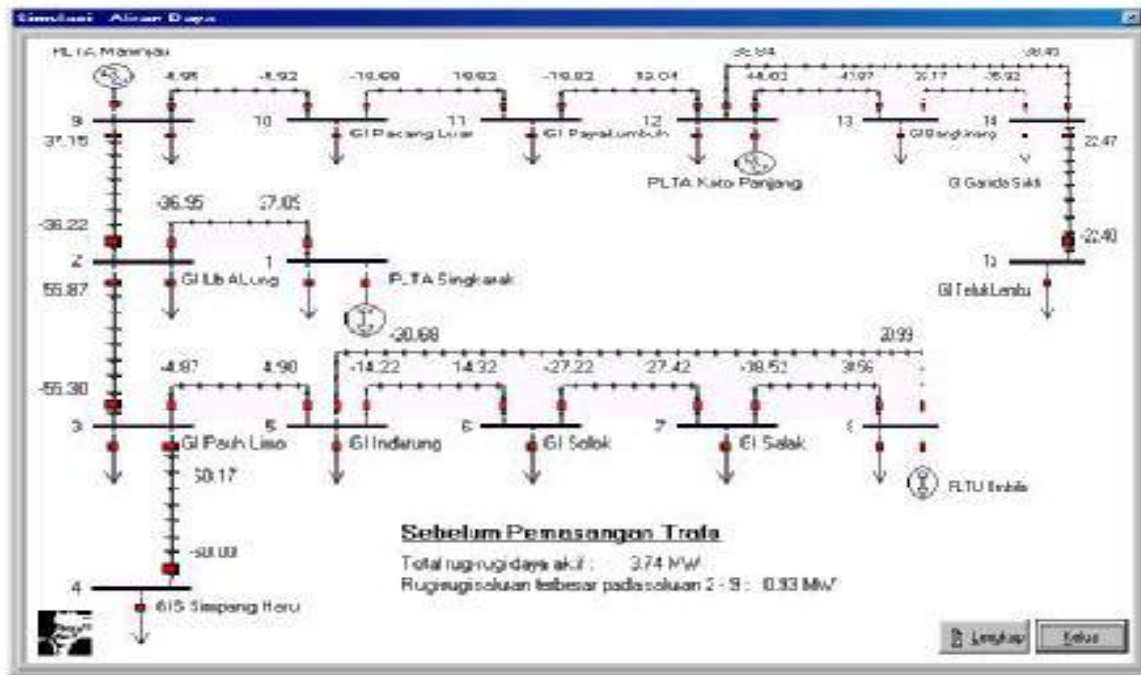
1. Menentukan data-data masukan untuk proses perhitungan.
2. Menghitung dan membentuk matrik admitansi.
3. Menghitung daya aktif dan reaktif pada bus p.
4. Menghitung perbedaan daya aktif dan reaktif antara daya schedul dan daya dihitung pada bus p
5. Menentukan perubahan maksimum daya aktif dan reaktif.
6. Uji konvergensi perubahan mutlak maksimum daya aktif dan reaktif dengan nilai epsilon. Jika terpenuhi ke 7, jika belum hitung arus bus, elemen-elemen matrik jacobian dan perubahan tegangan.
7. Hitung daya yang mengalir pada saluran dengan persamaan daya.
8. Menghitung rugi-rugi daya aktif dan reaktif saluran dan total rugi-rugi daya aktif.
9. Menentukan saluran rugi-rugi daya aktif terbesar.
10. Menentukan posisi tap dan menghitung admitansi saluran.
11. Apakah posisi tap menyatakan total rugi-rugi daya terkecil.
12. Jika belum lebih kecil total rugi-rugi daya dari sebelumnya atur posisi tap, jika sudah lebih kecil keluarkan hasil

total rugi-rugi daya aktif, tegangan bus, daya pada slack bus dan posisi tap changer transformer.

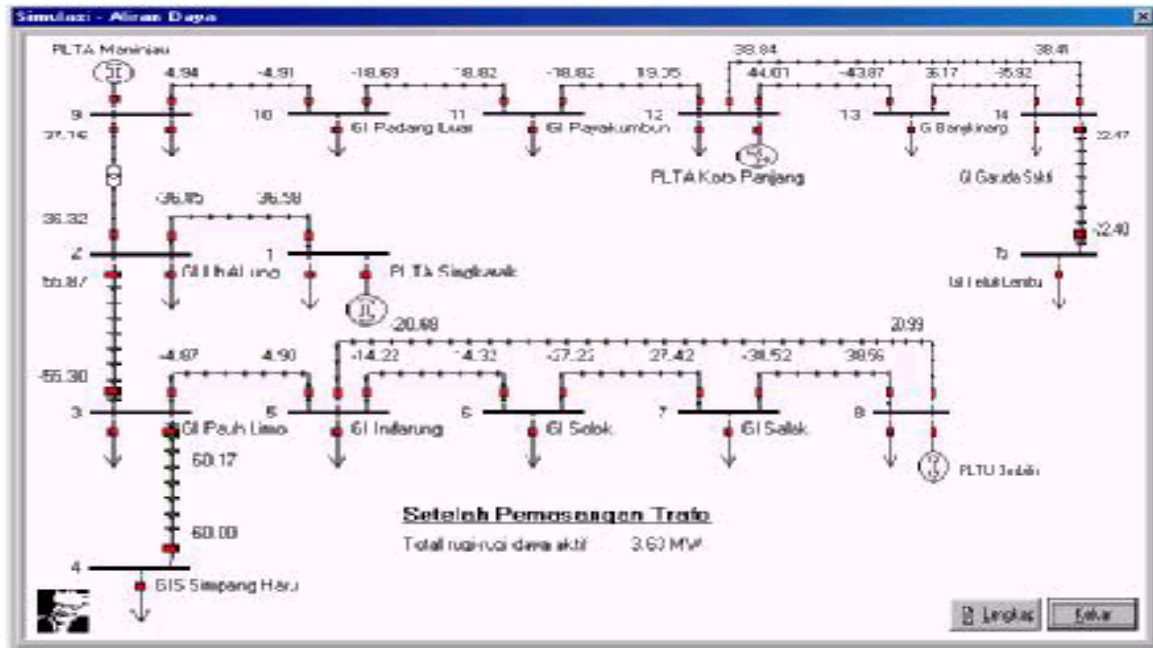
### 3. Data Sistem Tenaga

#### 3.1. Sistem Tenaga Sumbar-Riau

Sistem tenaga Sumbar-Riau 150 kV 15 bus 16 saluran sebelum dan setelah pemasangan Tap Changer Transformer digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Sistem Tenaga Sebelum Pemasangan Transformer



Gambar 3.2 Sistem Tenaga Setelah Pemasangan Transformer

### 3.2. Data Pembangkitan dan Beban

Data pembangkitan, beban dan saluran sistem 150 kV Sumbar-Riau 15 bus 16 saluran sebagai berikut :

**Tabel 3.1** data tegangan, daya aktif dan reaktif generator dan beban

Bus P	Tegangan		Daya Generator		Daya Beban		Tipe bus
	$e_p$	$f_p$	$PG_p$	$QG_p$	$PL_p$	$QL_p$	
1	1.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	1
2	1.0	0.0	0.00	0.00	17.3	9.0	3
3	1.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	3
4	1.0	0.0	0.00	0.00	60.0	30.0	3
5	1.0	0.0	0.00	0.00	30.0	14.0	3
6	1.0	0.0	0.00	0.00	12.9	6.5	3
7	1.0	0.0	0.00	0.00	11.1	6.0	3
8	1.0	0.0	66.75	50.32	7.2	4.0	2
9	1.0	0.0	50.0	30.0	7.9	3.9	2
10	1.0	0.0	0.00	0.00	23.6	12.0	3
11	1.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	3
12	1.0	0.0	108	45.0	6.1	3.3	2
13	1.0	0.0	0.00	0.00	7.7	4.0	3
14	1.0	0.0	0.00	0.00	51.9	25.5	3
15	1.0	0.0	0.00	0.00	22.4	12.0	3

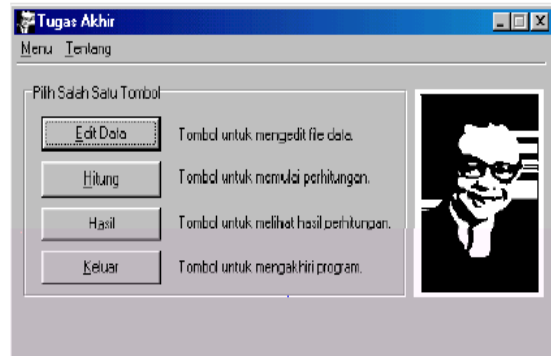
**Tabel 3.2** data saluran sistem 150 kV Sumbar-Riau

No.	Bus p	Bus q	R (p,q)	X (p,q)	$y_{pq}/2$
1	1	2	0.004533	0.022133	0.003306
2	2	3	0.017674	0.063506	0.010472
3	2	9	0.029736	0.106848	0.015479
4	3	4	0.003671	0.013191	0.002391
5	3	5	0.003493	0.012547	0.002620
6	5	6	0.017857	0.063862	0.009297
7	5	8	0.033538	0.120510	0.017458
8	6	7	0.014412	0.051782	0.008539
9	7	8	0.001269	0.004560	0.000856
10	9	10	0.022027	0.076160	0.014346
11	10	11	0.016782	0.058027	0.010930
12	11	12	0.032149	0.155828	0.022468
13	12	13	0.005479	0.032956	0.005400
14	12	14	0.019236	0.115706	0.022937
15	13	14	0.013939	0.083824	0.018650
16	14	15	0.010000	0.010000	0.000001

### 4. Hasil dan Pembahasan

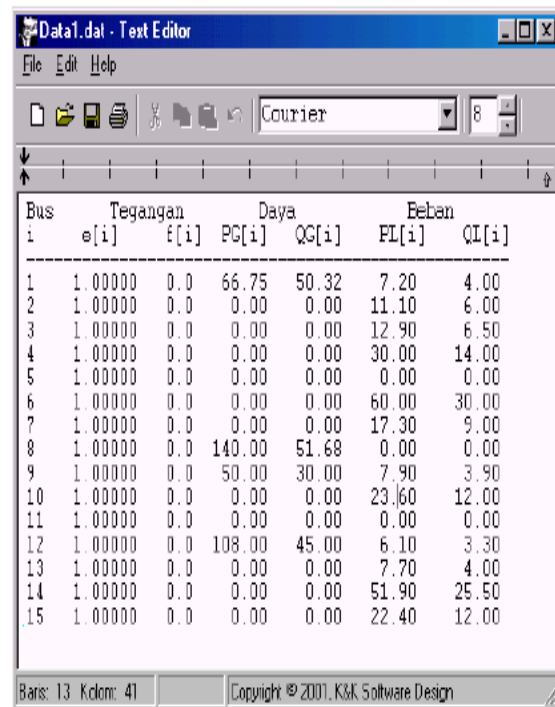
Program dan makalah ini dijalankan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 5.0 dan diaplikasikan pada komputer processor 166 MHz, 32 Mb.

#### 4.1 Tampilan awal untuk memulai program



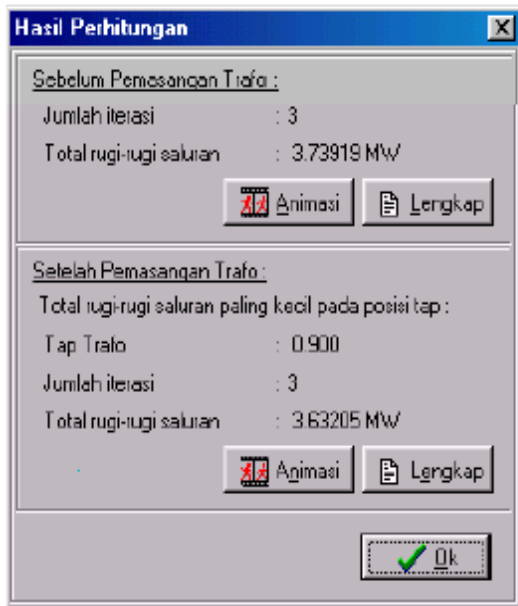
**Gambar 4.1.** Hasil Memulai Program

#### 4.2 Tampilan menu dan editor edit data



**Gambar 4.2.** Data Pembebanan Sistem 150 kV Sumbar-Riau

### 4.3 Tampilan Menu Hasil Perhitungan



**Gambar 4.3.** Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Total

**Tabel 4.2** Hasil Perhitungan Tegangan, Pembangkitan dan Pembebanan Setelah Optimasi Daya Reaktif

Bus P	Tegangan		Pembangkitan		Beban	
	e(pu)	f(pu)	P (MW)	Q (MVA <sub>r</sub> )	P (MW)	Q (MVA <sub>r</sub> )
1	1.0000	0.0000	37.09	-0.3996	0.00	0.00
2	0.9895	0.0064	0.00	0.00	17.3	9.0
3	0.9770	0.0415	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.9783	0.0508	0.00	0.00	60.0	30.0
5	0.9735	0.0397	0.00	0.00	30.0	14.0
6	0.9642	0.0265	0.00	0.00	12.9	6.5
7	0.9562	0.0082	0.00	0.00	11.1	6.0
8	0.9554	0.0060	66.75	50.32	7.2	4.0
9	0.9591	-0.0404	50.0	30.0	7.9	3.9
10	0.9501	-0.0384	0.00	0.00	23.6	12.0
11	0.9409	-0.0529	0.00	0.00	0.0	0.0
12	0.9188	-0.0883	108	45.0	6.1	3.3
13	0.9235	-0.0720	0.00	0.00	7.7	4.0
14	0.9343	-0.0377	0.00	0.00	51.9	25.5
15	0.9333	-0.0340	0.00	0.00	22.4	12.0

**Tabel 4.1** Hasil Perhitungan Tegangan, Pembangkitan dan Pembebanan Sebelum Optimasi Daya Reaktif

Bus P	Tegangan		Pembangkitan		Beban	
	e(pu)	f(pu)	P (MW)	Q (MVA <sub>r</sub> )	P (MW)	Q (MVA <sub>r</sub> )
1	1.0000	0.0000	37.09	-0.3996	0.00	0.00
2	0.9894	0.0064	0.00	0.00	17.3	9.0
3	0.9769	0.0415	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.9781	0.0508	0.00	0.00	60.0	30.0
5	0.9734	0.0397	0.00	0.00	30.0	14.0
6	0.9642	0.0265	0.00	0.00	12.9	6.5
7	0.9562	0.0082	0.00	0.00	11.1	6.0
8	0.9554	0.0060	66.75	50.32	7.2	4.0
9	0.9553	-0.0456	50.0	30.0	7.9	3.9
10	0.9464	-0.0435	0.00	0.00	23.6	12.0
11	0.9371	-0.0579	0.00	0.00	0.0	0.0
12	0.9147	-0.0934	108	45.0	6.1	3.3
13	0.9195	-0.0770	0.00	0.00	7.7	4.0
14	0.9306	-0.0427	0.00	0.00	51.9	25.5
15	0.9296	-0.0390	0.00	0.00	22.4	12.0

**Tabel 4.2** Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Saluran Sebelum dan Setelah Optimasi

Bus	Rugi-Rugi Daya Saluran Sebelum Optimasi		Rugi-Rugi Daya Saluran Setelah Optimasi	
	P(MW)	Q(MVA <sub>r</sub> )	P(MW)	Q(MVA <sub>r</sub> )
p - q				
1 - 2	0.135	0.334	0.134	0.327
2 - 3	0.566	1.020	0.566	1.020
2 - 9	0.934	1.892	0.837	1.536
3 - 4	0.172	0.388	0.172	0.388
3 - 5	0.032	0.134	0.032	0.134
5 - 6	0.105	0.497	0.105	0.497
5 - 8	0.313	0.499	0.313	0.499
6 - 7	0.199	0.071	0.199	0.071
7 - 8	0.031	0.034	0.031	0.034
9 - 10	0.029	1.199	0.029	1.208
10 - 11	0.136	0.502	0.135	0.511
11 - 12	0.223	0.859	0.222	0.879
12 - 13	0.142	0.398	0.141	0.388
12 - 14	0.394	0.406	0.391	0.373
13 - 14	0.251	0.093	0.249	0.117
14 - 15	0.074	0.074	0.074	0.074
Total	3.739		3.632	

#### 4.4. Pembahasan Hasil

Optimasi pembangkitan daya reaktif dengan rugi-rugi daya aktif minimum turun sebesar 2,86% dengan posisi Tap Changer Transformer pada tap 0.9 di pasang antara bus 2 dan 9.

#### 5. Kesimpulan

Dengan mengatur daya reaktif dan tegangan sistem menggunakan Tap Changer Transformer menghasilkan rugi-rugi daya aktif pada sistem tenaga 150 kV Sumbar-Riau menurun sedangkan profil tegangan berada pada batas yang diizinkan oleh PLN.

Berdasarkan hasil perhitungan aliran daya dengan metoda Newton Raphson sistem tenaga 150 kV Sumbar-Riau dan optimasi pembangkitan daya reaktif didapat rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan TCT terbesar pada saluran antara bus 2 dan 9 sebesar 0,9340 MW dan total rugi-rugi daya aktif 3,739 MW. Setelah pemasangan TCT total rugi-rugi daya aktif 3,632 MW didapat penurunan total rugi-rugi daya aktif sebesar 2,86 % dengan posisi tap 0.9

#### 6. Daftar Pustaka

1. Dommel, H. W. and W. F. Tinney, "Optimal Power Flows Solutions", IEEE Transaction on Power Apparatus and System, 7, 1986, pp. 1866-1876
2. Fernandes, R. A., H.H. Happ, and K. A. Wirgau, "System Loss Reduction by Coordinated Tap and Generator Voltage Adjustment", Paper presented at the 1978 American Power Conference, Chicago, Illinois.
3. Gonen, T., "Modern Power System Analysis", Jhon Wiley & Sons, New York, 1988
4. John J. Grainger William D. Stevenson, JR., "Power System Analysis", Mc. Graw-Hill International Editions 1994.
5. Mamandur, K.R.C and R.D. Chenoweth, "Optimal Control of Reactive Power Flow For Improvements in Voltage Profiles and for Real Power Loss Minimization", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. & July 1981

