

SKIM KEGAGALAN BUMI UNIT PENJANA-PENGUBAH MENGGUNAKAN
KOMPONEN SIMETRI DAN JELMAAN WAVELET-RANGKAIAN
NEURAL BUATAN

AHMAD RIZAL SULTAN

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi
syarat penganugerahan Ijazah
Doktor Falsafah (Kejuruteraan Elektrik)

Fakulti Kejuruteraan Elektrik
Universiti Teknologi Malaysia

MEI 2015

DEDIKASI

Buat Ayahanda Nur Abidin Sultan atas doa dan kasih sayang yang tiada duanya dan Allayarhamah Ibunda Hjh. Sarialang dan Anakda Ahmad Firdaus Rizal yang meninggal ketika saya dalam pengajian ini. semoga sentiasa dilimpahi rahmat Allah SWT dan diberkahi rahmat di Alam Kubur. Amin..

Buat Istri tercinta Ratih Mayapada Amrad dan Anak-anak tersayang Ahmad Umair Rizal dan Ahmad Hafidz Rizal yang sangat memahami dan sentiasa memberi perangsang, semoga sentiasa dilimpahi rahmat Allah SWT atas kasih sayang dan perhatian kalian selama ini.

Setinggi penghargaan kepada :
Prof. Ir. Dr. Mohd. Wazir bin Mustafa
atas nasihat, bimbingan dan tunjuk ajar serta ilmu yang dicurahkan.
Hanya Allah SWT sahaja yang dapat membalasnya.

PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah SWT yang maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah menganugerahkan kekuatan, kesabaran, dan kesungguhan dalam melengkapkan tesis ini. Semoga sumbangan yang tidak seberapa ini, dapat memberi impak dalam lingkup kejuruteraan elektrik.

Saya ingin merakamkan penghargaan yang tidak terhingga kepada penyelia saya, Prof. Ir. Dr. Mohd. Wazir bin Mustafa di atas kesungguhan, keikhlasan dan kesabaran mendidik saya sehingga siapnya tesis ini. Tunjuk ajar dan keprihatinan yang dicurahkan menambah lagi kamus kehidupan di dalam mengenali erti kemanusiaan.

Jutaan terima kasih kepada semua pensyarah dan rakan-rakan dalam *Power Engineering Research Group* yang tidak mungkin saya sebutkan nama satu persatu dengan ikhlas dalam membantu, memberi nasihat dan tunjuk ajar yang berguna.

Jasa dan keikhlasan membuat saya lebih menghargai sambungan sesama manusia.

ABSTRAK

Sebahagian besar kegagalan elektrik adalah kegagalan bumi. Kesan daripada kegagalan satu fasa bumi perlu diminimumkan. Keupayaan mengesan dan mengklasifikasi jenis kegagalan memainkan peranan yang besar dalam perlindungan sistem kuasa. Dalam kajian ini, kaedah komponen simetri digunakan untuk menganalisis kesan pelbagai sambungan pengubah dan pembumian penjana untuk kegagalan satu fasa bumi pada unit penjana-pengubah. Jelmaan Wavelet Diskret dan Rangkaian Neural Buatan digunakan untuk Skim Diagnosis Kegagalan Bumi pada lokasi yang berbeza pada unit penjana-pengubah. Isyarat kegagalan dihuraikan melalui analisis Jelmaan Wavelet ke dalam hampiran dan perincian yang berbeza. Pendekatan baharu kaedah statistik dan pengecaman corak rangkaian neural, termasuklah parameter statistik bagi setiap jenis kegagalan bumi telah digunakan dalam reka bentuk rangkaian neural untuk mendiagnosis kegagalan bumi. Skim diagnosis kegagalan bumi terdiri daripada pengesanan dan pengklasifikasi kegagalan bumi. Simulasi unit penjana-pengubah telah dilakukan dengan menggunakan MATLAB *Sim-PowerSystem*. Analisis parameter statistik yang digunakan iaitu faktor kecenderungan termasuk min, mod dan median pekali perincian wavelet dan faktor serakan termasuk julat dan sisihan piawai pekali perincian wavelet. Faktor kecenderungan dan faktor serakan digunakan sebagai masukan untuk rangkaian neural pengecaman corak. Hasil ciri penerima pengendalian dan matriks kekeliruan daripada pengecaman corak rangkaian neural menunjukkan bahawa algoritma yang dicadangkan adalah tepat untuk mengesan serta mengklasifikasikan kegagalan bumi untuk unit penjana-pengubah.

ABSTRACT

The majority of electric faults are ground-faults. The effect of a single phase to ground-fault must be minimized. The ability to detect and classify the type of fault plays a great role in the protection of a power system. In this research, symmetrical component method is used to analyze the effect of various transformer connection and generator grounding methods of single phase to ground-fault at the unit generator-transformer. Discrete Wavelet Transforms and Artificial Neural Network are applied to Ground-Fault Diagnosis Scheme at different locations at the unit generator-transformer. This faults waveform was decomposed through wavelet transform analysis into different approximations and details. A new Statistical Method and Neural Network Pattern Recognition approach, which includes statistical parameters of each type of ground-fault was used in neural network architecture for the ground-fault diagnosis. Ground-fault diagnosis scheme consists of detection and classification of ground-faults. The simulation of the unit generator-transformer was carried out using the Sim-PowerSystem Blockset of MATLAB. The statistical parameters analysis involved calculating a tendency factors including the mean, mode, median and dispersion factor including range and standard deviation values of detailed wavelet coefficients. Tendency factor and dispersion factor are used as input for Neural Network Pattern Recognition. The results of Receiver Operating Characteristic and Confusion Matrix of Neural Pattern Recognition indicated that the proposed algorithm is enough to detect and classify a ground-fault for a unit generator-transformer.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	x
	SENARAI RAJAH	xii
	SENARAI SINGKATAN	xiv
	SENARAI SIMBOL	xvii
	SENARAI LAMPIRAN	xviii
1	PENGENALAN	1
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Pernyataan Masalah	4
	1.3 Objektif Kajian	4
	1.4 Skop Kajian	4
	1.5 Sumbangan daripada Kajian	5
	1.6 Susunan Tesis	6
2	TINJAUAN LITERATUR	7
	2.1 Pengenalan	7
	2.2 Kaedah Pembumian Penjana	10

2.2.1	Pembumian dengan Impedans-Tinggi	11
2.2.2	Pembumian dengan Perintang-Tinggi	11
2.2.3	Pembumian dengan Regangan	12
2.2.4	Pembumian dengan Pengubah-Pembumian	12
2.3	Kaedah Sambungan Pengubah	13
2.4	Kegagalan Bumi	15
2.5	Kaedah Komponen Simetri	18
2.6	Jelmaan Wavelet	19
2.6.1	Penggunaan Jelmaan Wavelet Pada Sistem Kuasa Elektrik	24
2.6.2	Penggunaan Parameter Statistik	25
2.7	Rangkaian Neural Buatan	27
2.7.1	Model Asas Neuron daripada RNB	28
2.7.2	Tipologi Rangkaian Neural Buatan	30
2.7.3	Pembelajaran pada Rangkain Neural Buatan	31
2.7.4	Penggunaan RNB dalam Sistem Kuasa Elektrik	33
2.7.5	Kaedah Pengecaman Corak daripada RNB	35
2.7.6	Ciri Penerima Pengendalian daripada RNB	36
2.8	Ringkasan	42
3	METHODOLOGI PENYELIDIKAN	43
3.1	Pengenalan	43
3.2	Reka Bentuk Penyelidikan	44
3.3	Arus Kegagalan Satu Fasa Bumi pada Unit Penjana Pengubah menggunakan Kaedah Komponen Simetri	45
3.4	Diagnosis Kegagalan Satu Fasa Bumi pada Unit Penjana Pengubah	47
3.4.1	Kaedah Pengesanan Kegagalan Satu Fasa Bumi	49
3.4.2	Kaedah Pengklasifikasi Kegagalan Satu Fasa Bumi	50
3.5	Ciri Penerima Pengendalian dan Matriks Kekeliruan	

	daripada Rangkaian Neural Buatan	51
3.6	Ringkasan	52
4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	54
4.1	Pengenalan	55
4.2	Model Sistem Unit Penjana Pengubah	55
4.3	Arus K1FB menggunakan Kaedah Komponen Simetri	56
4.3.1	Kajian Kes -1 : Pelbagai kaedah pbumian penjana	56
4.3.2	Kajian Kes -2 : Pelbagai sambungan pengubah	63
4.3.3	Kajian Kes-3: Pelbagai kaedah pbumian penjana dan sambungan pengubah	70
4.4	Kaedah Diagnosis Kegagalan Satu Fasa Bumi	77
4.4.1	Modul Mengesan Kegagalan Satu Fasa Bumi	86
4.4.2	Modul Pengklasifikasi Kegagalan Satu Fasa Bumi	102
4.5.	Ringkasan	113
5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	115
5.1	Kesimpulan	115
5.2	Sumbangan Penyelidikan	116
5.3	Cadangan Lanjutan	117
	Rujukan	118
	Lampiran A-L	129-172

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Komponen-komponen matriks Kekeliruan	39
3.1	Lokasi K1FB bagi sistem ujian 3-bas dan 5-bas	45
4.1	Nilai per unit regangan untuk tiap parameter sistem 3-bas	55
4.2	Nilai regangan dalam per unit untuk tiap parameter sistem 5-bas	56
4.3	Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk sistem 3-bas dengan perubahan nilai pembumian penjana	59
4.4	Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk sistem 5-bas dengan perubahan nilai pembumian penjana P-1	62
4.5	Nilai praktikal nilai pembumian penjana terhadap arus kegagalan	64
4.6	Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk sistem 3-bas dengan pelbagai sambungan pengubah	65
4.7	Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk sistem 5-bas dengan pelbagai sambungan pengubah	67
4.8	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-1 untuk sistem 3-bas	71
4.9	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-2 untuk sistem 3-bas	72
4.10	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-3 untuk sistem 3-bas	72
4.11	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-1 untuk sistem 5-bas	74
4.12	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-2 untuk sistem 5-bas	74
4.13	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-3 untuk sistem 5-bas	75

4.14	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-4 untuk sistem 5-bas	75
4.15	Nilai Arus K1FB dalam per unit pada Bas-1 untuk lokasi kegagalan di Bas-5 untuk sistem 5-bas	76
4.16	Nilai ciri daripada faktor serakan bagi K1FB	87
4.17	Nilai ciri daripada faktor kecenderungan bagi K1FB	88
4.18	Parameter masukan faktor kecenderungan daripada pekali JWD bagi model RNB	90
4.19	Parameter masukan faktor serakan daripada pekali JWD bagi model RNB	91
4.20	Ciri daripada RNB bagi pengesanan K1FB	93
4.21	Perbandingan Bilangan lapisan terlindung bagi masukan faktor kecenderungan pekali JWD pada pengesanan K1FB	94
4.22	Perbandingan Bilangan lapisan terlindung bagi masukan faktor serakan pekali JWD pada pengesanan K1FB	95
4.23	Matriks Kekeliruan untuk mengesan K1FB menggunakan masukan faktor kecenderungan	99
4.24	Matriks Kekeliruan untuk pengesanan K1FB menggunakan masukan faktor serakan daripada pekali JWD	100
4.25	Perbandingan matriks kekeliruan untuk ujian terhadap masukan nilai faktor kecenderungan dan faktor serakan pengesanan K1FB	101
4.26	Perbandingan matriks kekeliruan untuk pengesanan terhadap masukan nilai faktor kecenderungan dan faktor serakan pengesanan K1FB	102
4.27	Sasaran RNB pengklasifikasi K1FB	103
4.28	Ciri daripada RNB bagi pengklasifikasi K1FB	106
4.29	Perbandingan nilai pengklasifikasi tiap fasa untuk ujian dan pengesanan RNB pengklasifikasi K1FB pada UPP	113

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Model konfigurasi unit penjana-pengubah	8
2.2	Model unit penjana-pengubah dengan pemutus litar	9
2.3	Skim pembumian dalam sistem kuasa elektrik	10
2.4	Gambarajah blok sambungan dan litar jujukan-sifar pengubah	15
2.5	Gambarajah blok JWD daripada isyarat asal $x(n)$	21
2.6	Pokok penghuraian daripada JW	21
2.7	Gambarajah daripada RNB	27
2.8	Model neuron asas neuron dalam pembelajaran	28
2.9	Fungsi tak-lelurus biasa	29
2.10	Keluaran RNB terhadap bilangan kes	36
2.11	Lengkung asas daripada CPP	37
2.12	Perbandingan lengkung CPP	38
3.1	Model unit penjana-pengubah sistem 3-bas	44
3.2	Model unit penjana-pengubah sistem 5-bas	44
3.3	Carta alir skim diagnosis K1FB	46
3.4	Reka bentuk daripada skim DKB dengan JW-RNB	47
3.5	Skim modul kaedah pengesanan K1FB	48
3.6	Skim modul kaedah pengklasifikasi K1FB	50
4.1	Model sistem 3-bas untuk pelbagai kaedah pembumian	57
4.2	Rangkaian jujukan-positif untuk model analisis 3-bas	57
4.3	Rangkaian jujukan-negatif untuk model analisis 3-bas	57
4.4	Rangkaian jujukan-sifar untuk model analisis 3-bas	58
4.5	Analisis untuk pelbagai kaedah pembumian sistem 5-bas	60

4.6	Rangkaian jujukan-positif untuk model analisis 5-bas	61
4.7	Rangkaian jujukan-negatif untuk model analisis 5-bas	62
4.8	Rangkaian jujukan-sifar untuk model analisis 5-bas	62
4.9	Model sistem 3-bas untuk pelbagai sambungan pengubah	65
4.10	Perbandingan arus K1FB untuk pelbagai sambungan pengubah dan pelbagai lokasi kegagalan untuk sistem 3-bas	66
4.11	Model sistem 5-bas untuk pelbagai sambungan pengubah	67
4.12	Perbandingan arus K1FB untuk pelbagai sambungan pengubah dan pelbagai lokasi kegagalan untuk sistem 5-bas	68
4.13	Aliran arus K1FB untuk pelbagai lokasi kegagalan sambungan pengubah Y_n-Y_n	69
4.14	Model analisis untuk pelbagai sambungan pengubah sistem 3-bas	70
4.15	Model analisis untuk pelbagai sambungan pengubah sistem 5-bas	73
4.16	Arus K1FB bagi Bas-1 untuk pelbagai lokasi kegagalan	78
4.17	Voltan K1FB bagi Bas-1 untuk pelbagai lokasi kegagalan	79
4.18	Penghuraian isyarat menggunakan induk Wavelet db_3	81
4.19	Perbandingan voltan keadaan normal dan K1FB bagi kegagalan di dalam UPP	82
4.20	Perbandingan arus keadaan normal dan K1FB bagi kegagalan di dalam UPP	83
4.21	p_1 daripada JWD bagi voltan kegagalan pada Bas-1 bagi pelbagai kategori kegagalan di dalam UPP	84
4.22	p_1 daripada JWD untuk arus kegagalan pada Bas-1 bagi pelbagai kategori kegagalan di dalam UPP	85
4.23	Reka bentuk RNB Mengesan K1FB dengan masukan faktor kecenderungan (18 x 27 x 1)	96
4.24	Reka bentuk RNB Mengesan K1FB dengan masukan faktor serakan (12 x 9 x 1)	96
4.25	Lengkung CPP untuk pengesanan K1FB menggunakan masukan faktor kecenderungan daripada pekali JWD	98
4.26	Lengkung CPP untuk pengesanan K1FB menggunakan masukan faktor serakan daripada pekali JWD	100

4.27	Reka bentuk RNB pengklasifikasi K1FB dengan masukan faktor kecenderungan (18 x 15 x 3)	107
4.28	Reka bentuk RNB pengklasifikasi K1FB dengan masukan faktor serakan (12 x 11 x 3)	107
4.29	Lengkung CPP untuk pengklasifikasi K1FB tiap fasa menggunakan masukan faktor kecenderungan daripada pekali JWD	110
4.30	Lengkung CPP untuk pengklasifikasi tiap K1FB menggunakan masukan faktor serakan daripada pekali JWD	112

SENARAI SINGKATAN

APB	-	Analisis Peleraian Berbilang
CPP	-	Ciri Penerima Pengendalian
Daubechius	-	Db
Daubechius -1	-	db ₁
Daubechius -3	-	db ₃
DKB	-	Diagnosis Kegagalan Bumi
H ₁	-	Hampiran-1
H ₃	-	Hampiran-3
JWB	-	Jelmaan Wavelet Berterusan
JWD	-	Jelmaan Wavelet Diskret
JW	-	Jelmaan Wavelet
KBL	-	Kawasan di Bawah Lengkung
KPB	-	Kadar Positif Sebenar
KPP	-	Kadar Positif Palsu
KB	-	Kegagalan Bumi
K1FB	-	Kegagalan satu fasa bumi
K2FB	-	Kegagalan dua fasa bumi
K3FB	-	Kegagalan tiga fasa bumi
KNB	-	Kadar Negatif Sebenar
KNP	-	Kadar Negatif Palsu
NB	-	Negatif Sebenar
NP	-	Negatif Palsu
p ₁	-	Perinci-1
p ₂	-	Perinci-2
p ₃	-	Perinci-3
PB	-	Positif Sebenar

PP	-	Positif Palsu
RN	-	Rangkaian Neural
RNB	-	Rangkaian Neural Buatan
SP	-	Sisihan Piawai
UPP	-	Unit Penjana Pengubah

SENARAI SIMBOL

a	-	Pemalar skalar (Pengembangan)
b	-	Pemalar peralihan (Pergeseran masa)
f	-	Pekali Jelmaan Wavelet
ψ	-	Induk Wavelet
$f(t)$	-	Isyarat masukan
h	-	Bilangan neuron lapisan terlindung
k	-	Bilangan bulat positif yang berubah-ubah
$l(n)$	-	Penapis laluan rendah
$h(n)$	-	Penapis laluan tinggi
I_3^0	-	Arus jujukan-sifar pada Bas-3
I_3^1	-	Arus jujukan-positif pada Bas-3
I_3^2	-	Arus jujukan-negatif pada Bas-3
I_3^a	-	Arus fasa- a pada Bas-3
I_3^b	-	Arus fasa- b pada Bas-3
I_3^c	-	Arus fasa- c pada Bas-3
M	-	Bilangan bulat positif yang berubah-ubah
n	-	Bilangan bulat positif yang berubah-ubah
N	-	Bilangan nombor dalam populasi
μ	-	Min populasi
x	-	Vektor data
Z_{33}^0	-	Impedans jujukan-sifar pada Bas-3
Z_{33}^1	-	Impedans jujukan-positif pada Bas-3
Z_{33}^2	-	Impedans jujukan-negatif pada Bas-3
Z_f	-	Impedans kegagalan

SENARAI LAMPIRAN

NO LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Kaedah umum sambungan yang betul litar jujukan-sifar pengubah	129
B	Kaedah Komponen Simetri	130
C1	Data impedans model sistem 3-bas	134
C2	Data impedans model sistem 5-bas	137
D1	Rangkaian jujukan-sifar model sistem 3-bas	144
D2	Rangkaian jujukan-sifar model sistem 5-bas	145
E	Isyarat Asas voltan dan arus kegagalan di dalam dan luar UPP	146
F	Isyarat Voltan dan Arus daripada JWD untuk lokasi kegagalan di dalam dan luar UPP	151
G	Pengekodan program Matlab untuk pengiraan arus K1FB	155
H	Program Matlab (<i>Sim-PowerSystem</i> <i>Blockset-simulink</i>)	158
I	Matriks pemberat dan pincang untuk masukan parameter faktor kecenderungan (untuk RNB 18-27-1)	163
J	Matriks pemberat dan pincang untuk masukan parameter faktor serakan (untuk RNB 12-9-1)	166
K	Matriks pemberat dan pincang untuk masukan parameter faktor kecenderungan	168

	(untuk RNB 18-15-3)	
L	Matriks pemberat dan pincang untuk masukan parameter faktor serakan (untuk RNB 12-11-3)	171

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang

Penjana sebagai salah satu komponen daripada sistem kuasa elektrik, apabila beroperasi tidak terlepas daripada kemungkinan berlakunya kegagalan. Apabila kegagalan berlaku, perkara ini mestilah boleh dikesani dengan pantas. Berasas kepada *IEEE Std. C.37.102* [1], magnitud arus Kegagalan Bumi (KB) pada penjana dipengaruhi oleh jumlah dan saiz penjana, model susunan belitan pengubah, susunan pembumian dan tatacara penjana terhadap sistem. Tatacara susunan penjana terhadap sistem kuasa elektrik boleh diklasifikasi kepada susunan Unit Penjana-Pengubah (UPP), susunan UPP dengan pemutus litar penjana, penjana silang-majmuk, penjana dengan penggunaan bersama pengubah dan penjana yang dihubungkan terus ke rangkaian agihan.

KB merupakan kegagalan yang paling kerap berlaku (kurang lebih 80%) dalam sistem kuasa elektrik [2,3]. Apabila KB berlaku, kegagalan ini mestilah pantas dikesani sebelum mempengaruhi fasa yang tidak gagal atau bahkan boleh memberi kesan pada sistem kuasa elektrik secara keseluruhan.

Arus KB pada UPP ditentukan oleh beberapa faktor, khasnya pada penjana dan pengubah ditentukan oleh impedans penjana dan impedans belitan pengubah [1, 4-6]. Fenomena KB yang berlaku dalam penjana bergantung kepada kaedah

pembumian penjana neutral yang digunakan. Penjana yang beroperasi dalam sistem kuasa biasanya disambungkan ke pengubah utama melalui pemutus litar penjana [4].

Beberapa penyelidik telah membincangkan keberkesanan sambungan pengubah dalam sistem kuasa elektrik tetapi tidak satu pun yang membicarakan keberkesanan terhadap arus KB. Sambungan pengubah terhadap susut voltan boleh menjejaskan prestasi daripada susut voltan, bergantung pada kegunaan pengubah yang digunakan dalam pengubah untuk perkhidmatan [7-10]. Pengubah sambungan $Yn-Yn$ yang dihubungkan terus ke penjana dan pengubah sambungan $\Delta-Yn$ yang dihubungkan terus ke beban boleh mengurangi tak seimbang voltan [11]. Hong dan Wang [12] telah membincangkan keberkesanan voltan pengubah terhadap keadaan pengendalian geganti KB pada UPP.

Pelbagai sambungan pengubah amat memberi kesan tak seimbang voltan pada sistem kuasa elektrik. Keberkesanan sambungan pengubah terhadap pelayanan kuasa elektrik termasuk pengendalian akibat tekanan penebat, pengubah penukaran-sadap untuk pelbagai keadaan pengendalian dibahas pada rujukan [13].

Pengesanan KB telah menjadi perhatian utama dalam geganti pelindung untuk masa yang lama. Jurutera dan penyelidik sering menghadapi cabaran untuk membangunkan teknik paling sesuai mengesan kegagalan dengan kebolehpercayaan yang munasabah untuk memastikan kawalan bagi sistem kuasa elektrik [14].

Pelbagai skim berasaskan ciri-ciri Jelmaan Wavelet (JW) telah digunakan untuk mengesan dan mengklasifikasi kegagalan. Carta alir pengklasifikasi kegagalan berasaskan kuasa dan entropi isyarat daripada JW pada talian penghantaran telah diterangkan pada [15, 16]. Rujukan [17-19] juga telah membincangkan skim pencarian ciri isyarat berasaskan JW secara pantas, indeks kegagalan dan kuasa daripada wavelet untuk mengesan kegagalan pada stator penjana segerak.

Penggunaan JW dengan pelbagai parameter dan Rangkaian Neural Buatan (RNB) mengesan kegagalan telah digunakan dalam pelbagai rencana [15, 19-25].

Kaedah pengklasifikasi isyarat fana sistem kuasa berasaskan entropi wavelet kuasa dan entropi wavelet pemberat sebagai masukan daripada carta alir perambatan-belakang bagi mendapatkan pengklasifikasi isyarat fana seperti diterangkan oleh Zhengyou *et al.* [15]. Silva *et al.* [19] memperkenalkan kaedah mengesan dan mengklasifikasi kegagalan talian penghantaran menggunakan analisis rakaman osilograf. Pada kajian ini, digunakan wavelet Daubechius-4 (db_4) sebagai masukan daripada RNB untuk penganalisis kuasa.

Pencarian parameter statistik bagi mengesan kegagalan telah digunakan pada kajian sebelumnya [26-32]. Kajian pada rujukan [26–28] hanya menggunakan parameter sisihan piawai, kurtosis dan kepencongan [29, 30]. Parameter statistik untuk ciri yang lain termasuk nilai-nilai daripada kurtosis, kepencongan, faktor puncak, faktor kelegaan, faktor bentuk, faktor dedenyut, varians, amplitud puncak-kuasa dua dan amplitud min mutlak telah digunakan untuk mengesan kegagalan pada mesin elektrik diterangkan oleh Shen [31]. Lambrou *et al.* [32] telah menggunakan parameter statistik iaitu min, varians, kepencongan, kurtosis, sekaitan dan entropi dalam domain JW untuk pengklasifikasi isyarat suara.

1.2 Pernyataan Masalah

Bagi UPP, pemutus litar penjana mestilah boleh bekerja apabila berlaku KB pada sebelah penjana ataupun sebagai perlindungan sokongan apabila berlaku KB pada sebelah sekunder daripada pengubah. Salah satu maksud pbumian khasnya untuk penjana adalah menyediakan satu cara untuk mengesan kegagalan bumi. Kegagalan bumi pada penjana boleh menjejaskan sistem elektrik secara keseluruhan. Oleh itu, pengesanan arus kegagalan ini mestilah secara pantas.

Pada UPP, pelbagai model sambungan pengubah boleh digunakan. Setiap model sambungan pengubah akan mempengaruhi magnitud arus bilamana berlaku KB. Beberapa penyelidik telah membincangkan keberkesanan sambungan pengubah dalam sistem kuasa elektrik tetapi tidak satu pun yang membicarakan keberkesanan

terhadap arus KB. Untuk itu, pada kajian ini akan diterangkan keberkesanan pelbagai model sambungan pengubah dan kaedah pembumian penjana terhadap arus KB yang dikira di pangkalan penjana daripada UPP menggunakan kaedah komponen simetri.

Penggunaan pekali JW menggunakan parameter statistik bagi mengesan kegagalan telah digunakan pada beberapa rencana, namun penggunaan parameter statistik digunakan secara berasingan dengan RNB. Satu pendekatan baharu yang dicadangkan ialah skim diagnosis Kegagalan Satu Fasa Bumi (K1FB) menggunakan parameter statistik. Parameter statistik ini merangkumi faktor kecenderungan dan faktor serakan. Kedua-dua parameter statistik daripada pekali JW sebagai masukan untuk RNB yang digunakan pada UPP. Nilai-nilai dari faktor kecenderungan terdiri daripada min, mod dan median, serta nilai dari faktor serakan terdiri daripada julat dan sisihan piawai [33].

Skim sistem diagnosis K1FB yang digunakan hendaklah memperuntukkan, dan mengikut peralatan yang dipasang pada sistem sahaja. Jadi ianya hanya terhad kepada komponen terjejas sahaja dan mestilah bekerja secara tepat untuk pengesanan arus kegagalan dengan pasti.

1.3 Objektif Kajian

Objektif bagi penyelidikan ini adalah seperti berikut :

- i. Menggunakan kaedah komponen simetri bagi mendapatkan keberkesanan pelbagai kaedah pembumian penjana dan sambungan pengubah terhadap arus K1FB pada UPP.
- ii. Membangunkan kaedah mengesan K1FB pada UPP menggunakan parameter statistik daripada JW dan RNB.
- iii. Membangunkan kaedah pengklasifikasi K1FB pada UPP berasaskan parameter statistik daripada JW dan RNB.

1.4 Skop Kajian

Hasil daripada kajian ini berasas kepada keadaan sebenar dan andaian dalam menganalisis suatu sistem. Skop kerja yang dilakukan dalam kajian ini, ialah:

- i. Analisis hanya terhadap K1FB di dalam dan di luar UPP [34].
- ii. Susunan UPP menggunakan pemutus litar penjana dengan sistem tiga bas dan lima bas [12, 35].
- iii. Kaedah pembumian penjana yang umumnya digunakan untuk pembumian penjana iaitu pembumian dengan perintang tinggi, pembumian dengan perintang rendah, pembumian dengan regangan berasas rujukan *IEEE Std C.37.102* [1] serta membandingkan dengan pembumian penjana padu atau penjana tanpa dibumikan.
- iv. Sambungan pengubah piawai iaitu sambungan bintang (Y) dan / atau delta (Δ) pada belitan primer dan belitan sekunder daripada pengubah [36].
- v. Perisian simulasi yang digunakan ialah *Simulink* dan *M-File* daripada MATLAB.

1.5 Sumbangan daripada Kajian

Diantara sumbangan daripada penyelidikan ini adalah seperti berikut :

- i. Membina model sistem menggunakan kaedah komponen simetri dalam menganalisis arus K1FB pada UPP untuk pelbagai sambungan pengubah dan kaedah pembumian penjana.
- ii. Membangun pendekatan baharu mengesan K1FB pada UPP menggunakan parameter statistik daripada JW digabungkan dengan RNB.
- iii. Membangun pendekatan baharu pengklasifikasi K1FB pada UPP menggunakan parameter statistik daripada JW digabungkan dengan RNB.

1.6 Susunan Tesis

Tesis ini disusun dalam lima bab. Latar belakang, pernyataan masalah, objektif kajian, skop kajian dan sumbangan daripada kajian diterangkan pada Bab 1.

Bab 2 akan menerangkan tinjauan literatur berupa model sambungan UPP termasuk kaedah pbumian penjana serta variasi sambungan belitan pengubah, teori asas komponen simetri. Selain itu teori asas dan penggunaan daripada JW, RNB, teori ciri penerima pengendalian dan matriks kekeliruan.

Bab 3 pula akan membincangkan methodologi penyelidikan mengandungi reka bentuk penyelidikan iaitu kaedah komponen simetri dan kaedah diagnosis K1FB menggunakan JW dan RNB.

Bab 4 membicarakan penggunaan kaedah komponen simetri untuk mendapatkan keberkesanan variasi pelbagai kaedah pbumian penjana dan sambungan belitan pengubah terhadap arus K1FB pada pangkalan penjana. Sebagai contoh analisis, kajian kes dilakukan pada sistem kuasa elektrik 3-bas dan 5-bas. Demikian juga cara baharu penggunaan skim diagnosis K1FB menggunakan parameter statistik daripada JW yang digabungkan dengan RNB dibicarakan pada bab ini.

Bab 5 membincangkan kesimpulan daripada kajian ini merangkumi juga sumbangan penyelidikan dan cadangan lanjutan untuk kajian masa hadapan.

RUJUKAN

1. IEEE. *Guide for AC Generator Protection*. Std C.37.102. 2006
2. Tungkanawanich, A., Kawazaki ZI., Matsuura K. and Kuno H. Ground Fault Discrimination based on Wavelet Transform using Artificial Neural Networks. *Transactions of The Institute of Electrical Engineers of Japan*. 2000. 120B (10): 1263-1270.
3. IEEE. *Guide for Generator Ground Protection*. Std C.37.101. 2006.
4. Fulczyk, M. and Bertsch, J. Ground-Fault Currents in Unit-Connected Generator with different Elements Grounding Neutral. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2002. 17(1): 61-66.
5. Saadat, H. *Power System Analysis*. Singapore. McGraw-Hill. 1999.
6. Reimert, D. *Protective Relaying for Power Generating Station*. Chp.5 .CRC Press. 2006.
7. Aung, M. T. and Milanovic, J. V. The Influence of Transformer Winding Connections on the Propagation of Voltage Sags. *IEEE Transaction on Power Delivery*. 2006. 21 (1): 262-269.
8. Mendes, W.R., Samesima, M.I. and Moura, F.A. Influence of Power Transformer Winding Connections on the Propagation of Voltage Sags through Electric System. *International Conference on European Electricity Market*. 2008, Uberlândia, Brazil. 1-6.
9. Klaic, Z., Fekete, K., Nikolovski S. and Prekratic, Z. Propagation of the Voltage Sags through Different Winding Connections of the Transformer. *International Conference on Electrical Power Quality and Utilization*. 2011. Osijek, Croatia. 1-5.
10. Leal R., Jacome, J., Clanco, J., Petit, J.F., Ordonez, G. and Barrera, V. Propagation of Voltage Sags : Influence of Transformer, Induction Motors and Fault Resistance. *Revista Ingenieria e Investigacion*. 2011. 31(2): 139-147.

11. Zielichowski, M. and Fulczyk, M. Influence of Voltage Transformer on Operating Conditions of Ground-Fault Protection System for Unit-Connected Generator. *Electrical Power and Energy Systems*. 1998. 20 (5): 313-319.
12. Hong, Y. Y. and Wang, F. M. Investigation of Impacts of Different Three-phase Transformer Connections and Load Model on Unbalance in Power System by Optimization. *IEEE Transaction on Power Systems*. 1997. 12 (2): 689-697.
13. Blume, L. F. Influence of Transformer Connection on Operation. *Journal of the American Institute of Electrical Engineers*. 1914. XXXIII: 735-752.
14. Youssef, O.A.S. Online Application of Wavelet Transforms to Power System Relaying. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2003. 18(4) : 1158-1165.
15. Zhengyou, H., G., Shibin, C., Xiaoqin, Z., Jun, B., Zhiqian. and Qingquan. Study of a New Method for Power System Transients Classification based on Wavelet Entropy and Neural Network. *Electrical Power and Energy Systems*. 2011. 33: 402-410.
16. Safty, S. E. and El-Zonkoly, A. Applying Wavelet Entropy Principle in Fault Classification. *Electrical Power and Energy System*. 2009. 31: 604-607.
17. Pittner, S. and Kamarthi, S. V. Feature Extraction from Wavelet Coefficients for Pattern Recognition Tasks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1999. 21(1): 83-88.
18. Rao, P. V. R. and Gafoor, S. A. Wavelet ANN based Stator Ground Fault Protection Scheme for Turbo Generator. *Electric Power Components and Systems*. 2007. 35: 575-59.
19. Silva, K. M., Souza, B. A. and Brito,N.S.D. Fault Detection and Classification in Transmission Lines Based on Wavelet Transform and ANN. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2006. 21 (4): 2058-2063.
20. Khan, M. A., Ozgonenel, O. and Rahman, M. A. Wavelet Transform based Protection of Stator Faults in Synchronous Generators. *Electric Power Components and Systems*. 2007. 36: 625-637.
21. Megahed, A.I. and Malik, O.P. An Artificial Neural Network based Digital Protection Scheme for Synchronous Generator Stator Winding Protection. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1999. 14(1): 86 – 93.
22. Taalab, A. I, Darwish, H. A. and Kawady, T. A. ANN-Based Novel Fault Detector for Generator Windings Protection. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1999. 14(3): 824 - 830.

23. Oleskovicz, M., Coury, D.V. and de Carvalho, A.C.P.F.F. Artificial Neural Network Applied to Power System Protection. In *5th Brazilian Symposium on Neural Network*. 1998. IEEE. Belo Horizonte. 247-252
24. Mohamed, E. A, Abdelaziz, A. Y. and Mostafa, A. S. A Neural Network-based Scheme for Fault Diagnosis of Power Transformers. *Electric Power Systems Research*. 2005. 75: 29-39.
25. Tripathy, M., Maheshwari, R.P. and Verma, H. K. Power Transformer Differential Protection based on Optimal Probabilistic Neural Network. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010. 25(1) : 102 – 112.
26. Bolzan, M. J. A. Statistical and Wavelet Analysis of the Solar Wind Data. *Brazilian Journal of Physics*. 2005. 35 (3A): 592 – 596.
27. Baqui, I., Zamora, I., Mazon, J. and Buigues, G. High Impedance Fault Detection Methodology using Wavelet Transform and Neural Network. *Electrical Power Systems Research*. 2011. 81: 1325-1333.
28. Mu, M. and Ruan, Q. Mean and Standard Deviation as Features for Palmprint Recognition based on Gabor Filters. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 2011. 25(4): 491-512.
29. Kocaman, C. and Ozdemir, M. Comparison of Statistical Methods and Wavelet Energy Coefficients for Determining Two Common PQ Disturbances: Sag and Swell. *International Conference on Electrical and Electronics Engineering*. 2009. 80-84.
30. Hashemi, E., Asadzadeh, M. and Kozakevicus, A. Micro-calcification Detection in Mammography using Wavelet Transform and Statistical Parameter. In *XXXIV Congresso Nacional De Matematica Aplicada Ecomputaciona*. Aguca de Lindoa, SP. 2012. 367 – 368.
31. Shen, C., Wang, D., Kong, F. and Tse, P. W. Fault Diagnosis of Rotating Machine based on Statistical Parameters of Wavelet Packet Paving and a Generic Support Vector Regressive Classifier. *Measurement*. 2013. 46: 1551-1564.
32. Lambrou T., Kudumakis P., Speller R., Sanler M. and Linney A. Classification of Audio Signals using Statistical Features on Time and Wavelet Transform Domain. In *IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing*. 1998. IEEE, Seattle-WA, 3621-3624.

33. Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G. and Poggi, J. M. *Wavelet Toolbox™ User's Guide R2012b*. The MathWorks, Inc. 2012.
34. Halinka, A. and Szewczyk, M. ANN based Detection of Electrical Faults in Generator-Transformer Units. *In Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection*. Stevenage, 2004. 348-351.
35. Teo, C. Y. and He, W. X. A Direct Approach to Short-Circuit Calculation without using Symmetrical Components. *Electrical Power and Energy Systems*. 1997. 19 (5): 293-298.
36. Baghzous, Y. and Gong, X. D. Analysis of Three-Phase Transformer no-Load Characteristic. *IEEE Transactions on Power Systems*. 1995. 10 (1): 18-26.
37. Lu, Y-P., Lai, L.L. and Tang, G-Q. Neural Network based Generator-transformer Protection. *In the third International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2004. IEEE- Shanghai, 4295-4301.
38. Zielichowski, M. and Mydlikowski, R. Optimization of Operating Conditions of Third Harmonic Ground-Fault Protection System of Generator-Transformer Unit With Two-States Transverse Parameters. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2004. 19 (2) : 565-569.
39. Lihuang, S., Shi, Z., Zhiqiang, L. and Tingting, P. The Research on a New Fault Wave Recording Device in Generator-transformer Units. *In control and Decision Conference CCDC 2009*, Chinese, 2052-2056.
40. IEEE. *IEEE Guide for Generating Station Grounding*. Std 665™., 2001.
41. IEEE. *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. Std. 142. 2007.
42. IEEE. *IEEE Standard for Cylindrical-Rotor 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators Rated 10 MVA and Above*. Std C50.13. 2005.
43. IEEE. *IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems. Part II-Grounding of Synchronous Generator Systems*. Std C62.92.2™. 2005.
44. IEEE. *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. Std 242. 2001.
45. Gupta, B. R. *Power System Analysis and Design*. A.H Wheeler and Co. New Delhi. 1985.
46. Grainger, J. J. and Stevenson, Jr.W. D. *Power System Analysis*. McGraw-Hill. 1994.

47. Nasser, T. *Power Systems Modelling and Fault Analysis*, Newnes- Elsevier Ltd. 2008.
48. Gilany, M., Malik, O. P. and Megahed, A. I. Generator Stator Winding Protection with 100% Enhanced Sensitivity. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2002. 24 (92): 167-172.
49. Othman, M. F., Mahfout, M. and Linkens, D. A. Transmission Line Fault Detection, Classification, and Location using An Intelligent Power System Stabilizer. *IEEE Int. Conf. Elect. Utility Deregulate, Restructuring and Power Technologies*. 2004. Hongkong. 1: 360-365.
50. Ballal, M.S., Suryawanshi, H. M. and Mishra, M. K. Stator Winding inter-turn Insulation Fault Detection in Induction Motors by Symmetrical Components Method. *Electric Power Components and Systems*. 2008. 36 (7): 741–753.
51. Abdel-Salam, M., Abdel-Sattar, M., Abdallah, A. S. and Ali, H. Symmetrical Component Analysis of Multi-Pulse Converter Systems. *Electric Power Components and Systems*. 2006. 34 (8): 867–888.
52. Abu-Elhaija, W. S. and Amoura, F. K. Fault Analysis of Six Phase Power System Using Six Phase Symmetrical Components. *Electric Power Components and Systems*. 2005. 33 (6): 657–671.
53. Nengling, T., Zhijian, H., Xianggen, Y., Xiaohua, L. and Deshu, C. Wavelet-based Ground Fault Protection Scheme for Generator Stator Winding. *Electric Power Systems Research*. 2002. 61: 21-28.
54. Mallat, S. and Hwang, W. L. Singularity Detection and Processing with Wavelet, *IEEE Transactions on Information Theory*. 1992. 38(2): 617-643.
55. Chui, K. C. (1992). *Introduction to Wavelet*. Academic Press.
56. Daubechies, I. (1992). *Ten Lectures on Wavelet*. SIAM, Pennsylvania.
57. Sadegh J. and Navid G. (2012). A New Method for Arcing Fault Location using Discrete Wavelet Transform and Wavelet Networks. *European Transaction on Electrical Power*. 22 : 601–615.
58. Mei, K., Rovnyak, S. M. and Chee-Mun, O. Dynamic Event Detection using Wavelet Analysis. *In IEEE Power Engineering Society General Meeting*. IEEE. 2006. Montreal, Que. 7-11.
59. Youssef, O.A.S. Fault Classification based on Wavelet Transforms. *In Transmission and Distribution Conference and Exposition*. IEEE/PES, Atlanta. 2001. 531- 536.

60. Nengling, T. and Jiajia, C. Wavelet-Based Directional Stator Ground Fault Protection for Generator. *Electric Power Systems Research*. 2007. 77: 455-461.
61. Daubechies, I. The Wavelet Transforms, Time-Frequency Location and Signal Analysis, *IEEE Transaction on Information Theory*. 1990. 36(5): 961-1005.
62. Zheng, G. *Power System Disturbance Detection And Classification Based On Wide Area Phasor Measurements*. Doctor Philosophy, Tennessee Technological University, USA. 2012.
63. Daubechies, I., Mallat, S. and Willsky, A.S. Special Issue on Wavelet Transform on Multi Resolution Analysis. *IEEE Transactions on Information Theory*. 1992. 38 (2) : 529 – 531.
64. Pilay, P. and Bhattacharjee, A. Application of Wavelets to model Short-Term Power System Disturbances. *IEEE Transactions on Power Systems*. 1996. 11(4): 2031-2037.
65. Wilkinson, W.A. and Cox, M. D. Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients. *IEEE Transactions on Power Systems*. 1996. 11(4): 2038 – 2044.
66. Santoso, S., Powers, E. J., Grady, W. M. and Hofmann, P. Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1996. 11(2): 924 – 930.
67. Heydt, S.K. and Galili, A.W. Transient Power Quality Problem Analyzed using Wavelet. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1997. 12 (2): 908-915
68. Santoso, S., Powers, E. J. and Grady, W. M. Power Quality Disturbance Data Compression using Wavelet Transform Methods. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1997. 12(3): 1250 - 1257.
69. Littler, T. B. and Morrow, D. J. Wavelet for the Analysis and Compression of Power System Disturbances. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1999. 14(2): 358 – 364.
70. Pandey, S.K. and Satish, L. Multiresolution Signal Decomposition: A New Tool for Fault Detection in Power Transformer during Impulse Tests. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1998. 13(4): 1194-1200.
71. Robertson, D. C., Camps, O. I., Mayer, J. S. and Wish, W. B. Wavelet and Electromagnetic Power System Transients. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1996. 11(2): 1050 – 1058.

72. Rahmati, A. and M. Sanaye-Pasand. A Fast WT-Based Algorithm to Distinguish between Transformer Internal Faults and Inrush Currents. *European Transaction on Electrical Power*. 2012. 22: 471–490.
73. Viljoen C. *Elementary Statistic Vol. 2*. Pearson South Africa. 2000.
74. Megahed, A.I. and Malik, O.P. An Artificial Neural Network based Digital Protection Scheme for Synchronous Generator Stator Winding Protection. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1999. 14(1): 86 – 93.
75. Beale, M. H., Hagan, M. T. and Demuth, H. B. *Neural Network Toolbox™ User's Guide R2012a*, MathWorks. 2012.
76. Gumery, K. *An Introduction to Neural Network*. UCL Press. 1997.
77. Pilay, P. and Bhattacharjee, A. Application of Wavelets to model Short-Term Power System Disturbances. *IEEE Transactions on Power Systems*. 1996. 11(4): 2031-2037.
78. Mao, P. L. and Aggarwal, R. K. A Novel Approach to The Classification of The Transient Phenomena in Power Transformers using Combined Wavelet Transform and Neural Network. *IEEE Transaction on Power Delivery*. 2001. 16(4): 654–60.
79. Masters, T. *Practical Neural Network Recipes in C++*. Academic Press. 1995.
80. Freeman, J.A. and Skapura, D.M. *Neural Network : Algorithms, Applications and Programming Techniques*. Addison-Wesley Publishing Company. 1991.
81. Swingler, K. *Applying Neural Network- A Practical Guide*. Academic Press. 1996.
82. Darwis, H.A, Taalab, A-B.I, Kawady, T.A. Development and Implementation of an ANN-Based Fault Diagnosis Scheme for Generator Winding Protection. *IEEE Transaction on Power Delivery*. 2001. 16 (2): 208-214.
83. Geethanjali, M., Slochanal, S.M.R. and Bhavani, R. A Novel Approach for Power Transformer Protection based upon combined Wavelet Transform and Neural Network. *In The 7th International Power Engineering Conference*. 2005. IEEE, Singapore, 1 – 6.
84. Santoso, S., Powers, E. J., Grady, W. M. and Parsons, A. C. Power Quality Disturbance Waveform Recognition Using Wavelet-Based Neural Classifier— Part 1: Theoretical Foundation. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2000. 15 (1): 222-228.

85. Coury, D. V., Oleskovicz, M. and Aggarwal, R. K. An ANN Routine for Fault Detection, Classification, and Locating in Transmission Lines. *Electric Power Components and System*. 2002. 30: 1137-1149.
86. Reaz, M., Choong, F., Sulaiman, M., Mohd-Yasin, F. and Kamada, M. Expert System for Power Quality Disturbance Classifier. *IEEE Trans. Power Delivery*. 2007. 22: 1979-1988.
87. Al-Shaher., M. Saleh, A.S and Sabry, M.M. Estimation of Fault Locating and Fault Resistance for Single Line-to-Ground Faults in Multi Ring Distribution Network using Artificial Neural Network. *Electric Power Components and Systems*. 2009. 37: 697-713.
88. Egan, J.P. *Signal Detection Theory and ROC Analysis, Series In Cognition and Perception*. Academic Press, New York. 1975.
89. Swets, J. A., Dawes, R. M. and Monahan, J. Better Decisions through Science. *Scientific American*. 2000. 283: 82-87.
90. Swets, J. Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*. 1998. 240: 1285–1293.
91. Zou, K.H. Receiver Operating Characteristic (ROC) Literature Research. On-line bibliography available from: <<https://www.spl.harvard.edu/archive/spl-pre2007/pages/ppl/zou/roc.html>>. 2002. Retrieved on 29/04/2015.
92. Spackman, K.A. Signal Detection Theory: Valuable Tools for Evaluating Inductive Learning. *In: Proc. Sixth Internat. Workshop on Machine Learning*. Morgan Kaufman.1989. San Mateo. CA,160–163.
93. Provost, F. And Fawcett, T. Analysis and Visualization of Classifier Performance: Comparison Under Imprecise Class and Cost Distributions. *In: Proc. Third Internat. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-97)*. 1997. AAAI Press, Menlo Park, CA. 43–48.
94. Provost, F., Fawcett, T. and Kohavi, R. The Case against Accuracy Estimation for Comparing Induction Algorithms. *In: Shavlik, J. (Ed.), Proc. ICML-98*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA. 445–453. Available from: <<http://www.purl.org/NET/tfawcett/papers/ICML98-final.ps.gz>>. 1998. Retrieved on 29/04/2015.
95. Fawcett, T. An Introduction to ROC Analysis. *Pattern Recognition Letters*. 2006. 27: 861-874.

96. Hernandez-Orallo, J. ROC Curve for Regression. *Pattern Recognition*. 2013. 46: 3395-3411.
97. Erzen, L. *Artificial Neural Network High Impedance Arcing Fault Detection*. Doctor Philosophy, Rensselaer Polytechnic Institute, New York. 2003.
98. Visa, S., Ramsay, B., Ralescu, A. and Knaap, E. V. D. Confusion Matrix-based Feature Selection. *MAICS- CEUR Workshop Proceeding*. 2011. 710 : 120-127.
99. Matlab. *Mathematic R.2012b*. Mathworks. 2012.
100. Paap, G. C. Symmetrical Components in The Time Domain and Their Application to Power Network Calculations. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2000. 15 (2): 522-528.
101. Garcia, F. H., Ferraz, R. G., Bretas, A. S. and Leborgne, R. C. Single Line-to-Ground-faults on Distribution Systems: Effect of Pre-Fault Voltages on Fault Currents. *IEEE. Power and Energy Society General Meeting*. 2011. 1 – 5.
102. Matlab. *Simulink R.2012b*. Mathworks. 2012
103. Power Ohm Resistors, Inc. Type NR Neutral Grounding Resistors. Available from: < <http://www.powerohm.com/pdfs/NGCAT00.pdf>>. 2015. Retrieved on 07/05/2015.
104. IEEE. *IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems, Part V- Transmission System and Subtransmission Systems*. Std C62.92.5. 1992.
105. Garcia, F. H., Ferraz, R. G., Bretas, A. S. and Leborgne, R. C. Single Line-to-Ground-faults on Distribution Systems: Effect of Pre-Fault Voltages on Fault Currents. *IEEE. Power and Energy Society General Meeting*. 2011. 1 – 5.
106. Abdel-Akher, M. and Nor, K. M. Fault Analysis of Multiphase Distribution Systems using Symmetrical Components. *IEEE Transactions Power Delivery*. 2010. 25 (4); 2931-2939.