


PENGUKURAN SUDUT FASA MENGGUNAKAN  
TEKNIK ANJAKAN FASA

MOHD ZURUL KAMAL BIN SALIM

MEI 2007

“Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini. Pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektrik (Kuasa Industri).”

Tandatangan :  .....

Nama Penyelia : Professor Madya Md Noah bin Jamal

Tarikh : .....

# PENGUKURAN SUDUT FASA MENGGUNAKAN TEKNIK ANJAKAN FASA

MOHD ZURUL KAMAL BIN SALIM


Laporan Ini Diserahkan Bagi Memenuhi Syarat - Syarat Yang Diperlukan Untuk  
Penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektrik (Kuasa Industri)

Fakulti Kejuruteraan Elektrik

Universiti Teknikal Malaysia Melaka

Mei 2007

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang  
tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya.”

Tandatangan : .....  .....

Nama : MOHD ZURUL KAMAL BIN SALIM

Tarikh : 07 Mei 2007

**Untuk ayah dan ibu tercinta**

## ABSTRAK

Projek dan kajian ini bertujuan untuk membangunkan satu kaedah baru dalam proses mengukur sudut fasa bagi arus ulang-alik. Kaedah ini disasarkan akan menjadi satu kaedah yang tepat, mudah, mesra pengguna dan ekonomik. Projek ini mengaplikasikan litar anjakan fasa bolehubah sebagai komponen utamanya, dan digunakan untuk mengukur sudut fasa pada frekuensi 50 Hz. Julat ukuran sudutnya pula boleh dilakukan dari  $0^\circ$  hingga ke  $90^\circ$ . Pengukuran akan dibuat dengan menggunakan teknik bandingan, iaitu dengan membandingkan vektor yang hendak diukur dengan vektor rujukan yang mempunyai magnitud yang sama tetapi bersudut  $0^\circ$ . Berdasarkan teori yang mengatakan bahawa dua punca voltan yang mempunyai magnitud dan sudut yang sama tidak mempunyai beza voltan, maka penganjak fasa akan dilaraskan sehingga ke dua-dua voltan rujukan dan voltan yang hendak diukur menjadi sama. Dengan itu, bacaan sudut akan diperolehi berdasarkan berapa jumlah sudut yang dianjak oleh penganjak fasa. Projek ini diharapkan akan membantu pelajar untuk lebih memahami konsep vektor dalam arus ulang-alik secara praktikal dan eksperimen.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this project is to develop an alternative method to measure phase angle for electrical use. The signal to be measured is compared in magnitude and in phase to a reference signal. The measured signal is fed into a phase shifter where it is phase-shifted to produce a zero net voltage after the amplitudes have been made equal.

## ISI KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
	<b>KANDUNGAN</b>	vi
	<b>SENARAI JADUAL</b>	ix
	<b>SENARAI RAJAH</b>	x
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xii
<b>I</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Penyataan masalah	1
	1.3 Objektif projek	2
	1.4 Skop projek	3
<b>II</b>	<b>KAJIAN ILMIAH</b>	
	2.1 Cara untuk menghasilkan penganjak fasa bolehubah $0^\circ$ hingga $180^\circ$ menggunakan kaedah gandaan frekuensi.	4
	2.2 Meter sudut fasa.	9



<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
	2.3	Cara mengukur sudut fasa dengan menggunakan osiloskop digital. 10
	2.4	Pengukuran sudut fasa menggunakan meter sudut fasa. 17
	2.4.1	Kegunaan meter sudut fasa. 17
	2.4.2	Jenis-jenis meter sudut fasa. 18
	2.4.3	Piawaian Ukuran. 21
	2.5	Tetimbang Maxwell sebagai penganjak fasa. 23
<b>III</b>	<b>TEORI</b>	
	3.1	Komponen elektronik yang digunakan 25
	3.1.1	Kapasitor 25
	3.1.2	Perintang 33
	3.1.3	Induktor 37
	3.1.4	Penguat Kendalian (Operational Amplifier / Op-Amp). 38
<b>IV</b>	<b>METODOLOGI</b>	
	4.1	Pengenalan dan fasa projek 41
	4.2	<i>Gantt chart</i> 43
	4.3	Prinsip yang digunakan 45
	4.3.1	Penerangan litar 47

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
<b>V</b>	<b>REKABENTUK LITAR</b>	
	5.1 Litar anjakan fasa	48
	5.2 Litar pengubah voltan	49
<b>VI</b>	<b>ANALISA</b>	
	6.1 Penganjak fasa ringkas RC	53
	6.2 Eksperimen dalam makmal	56
	6.2.1 Objektif	56
	6.2.2 Alatan	56
	6.2.3 Kaedah	56
	6.2.4 Keputusan	59
	6.2.5 Perbincangan	59
<b>VII</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
	7.1 Kesimpulan	60
	7.2 Cadangan	61
	<b>RUJUKAN</b>	62
	<b>LAMPIRAN</b>	63

**SENARAI JADUAL**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
3.1	Jadual perkalian kapasitor kertas	30
3.2	Jadual kod warna perintang	34
4.1(a)	Gantt Chart perancangan projek	43
4.1(b)	<i>Gantt Chart</i> perancangan projek	44
6.1	Rintangan Perintang Terhadap Sudut	54
6.2	Keputusan eksperimen	59

## SENARAI RAJAH

NO	TAJUK	HALAMAN
2.1	Gambarajah litar anjakan fasa yang dicadangkan	5
2.2	Penganjak fasa bolehubah $90^\circ$ menggunakan penambahan vektor	6
2.3	<i>The electronics summing junction using differential pairs and emitter follower circuits.</i>	8
2.4	<i>Phase Angle Meter.</i>	9
2.5	Paparan osiloskop 1.	10
2.6	Paparan osiloskop 2.	11
2.7	Paparan osiloskop 3.	12
2.8	Paparan osiloskop 4.	13
2.9	Paparan osiloskop 5.	13
2.10	Paparan osiloskop 6.	15
2.11	Paparan osiloskop 7.	16
2.12	ATS-100 Phase Angle Meter.	19
2.13	Paparan panel hadapan.	20
2.14	Bacaan meter skala atas sejajar dengan pemfasa merah yang di gambarkan di bawah.	22
2.15	Rajah pemfasa.	22
2.16	Litar anjakan fasa bolehubah menggunakan kaedah Tetimbang Maxwell.	23
2.17	Tetimbang Maxwell yang dibina.	23
3.1	Kapasitor elektrolit.	26

NO	TAJUK	HALAMAN
3.2	Rajah skematik untuk kapasitor elektrolit	26
3.3	Polariti negatif pada kapasitor elektrolit	27
3.4	Kapasitor seramik	28
3.5	Rajah skematik kapasitor seramik	28
3.6	Kapasitor polister	29
3.7	Kapasitor kertas	30
3.8	Kapasitor bolehlaras	31
3.9	Rajah skematik kapasitor bolehlaras	31
3.10	<i>Trimmer</i>	32
3.11	Rajah skematik <i>trimmer</i>	32
3.12	perintang	33
3.13	<i>Potentiometer</i>	33
3.14	Perintang bolehlaras	33
3.15	Perintang tetap	34
3.16	<i>Potentiometer</i>	35
3.17	Rheostat	35
3.18	LDR dan simbol skematik	36
3.19	Termistor dan simbol skematik	36
3.20	Varistor	37
3.21	Pelbagai jenis induktor	37
3.22	Ferit	37
3.23	Simbol skematik bagi induktor	38
3.24	Penguat kendalian	38

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
3.25	Gambarajah blok penguat kendalian	39
3.26	Simbol asas penguat kendalian	39
3.27	Litar skematik penguat kendalian	40
4.1	Cartalir aktiviti projek	42
4.2	Simulasi Multisim dengan dua isyarat AU yang sama nilai	45
4.3	Simulasi Multisim dengan dua isyarat AU yang berbeza	46
4.4	Konsep yang digunakan dalam projek	47
5.1	Litar anjakan fasa bolehubah 0 hingga 90 darjah	49
5.2	Litar pengubah voltan	50
5.3	Litar lengkap keseluruhan projek (skematik)	51
5.4	Litar lengkap projek	51
5.5	Litar lengkap	52
6.1	Penganjak Fasa Mudah RC	53
6.2	Graf rintangan melawan sudut	55
6.3	Gambarajah blok proses pengukuran sudut fasa	56
6.4	Proses mengukur sudut fasa	57

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
A	Kertas Data Penguat Kendalian	63

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Pengenalan

Sudut fasa ialah sudut di antara dua vektor berputar yang mewakili dua kuantiti ulang alik sinusoidal berfrekuensi sama. Sudut fasa dalam vektor ditulis sebagai  $M \angle \theta$ , di mana  $M$  ialah magnitud dan  $\theta$  ialah sudut dalam darjah merujuk kepada titik yang ditetapkan. Terdapat pelbagai cara yang digunakan untuk mengukur sudut fasa. Projek ini adalah bertujuan untuk mengukur sudut fasa bagi voltan arus ulang alik dengan menggunakan kaedah baru, iaitu dengan mengaplikasikan litar anjakan fasa sebagai elemen utama.

### 1.2 Penyataan Masalah

Sudut fasa tidak dapat diukur dan dikesan dengan hanya menggunakan voltmeter. Voltmeter hanya dapat mengukur magnitud voltan tersebut sahaja, bukannya arah dan sudut. Terdapat beberapa kaedah sedia ada yang digunakan untuk mengukur sudut fasa arus ulang-alik. Kaedah yang terbaik untuk mendapatkan ukuran sudut fasa yang tepat adalah dengan menggunakan meter sudut fasa. Namun sebagai seorang pelajar, untuk memiliki satu set lengkap meter sudut fasa adalah menjadi tidak relevan kerana harganya yang mahal. Sebagai contoh, *North Atlantic 225 Phase Angle Meter* adalah berharga US \$ 899.99 [1].



Kaedah alternatif yang digunakan oleh para pelajar untuk membuat pengukuran adalah dengan menggunakan osiloskop. Akan tetapi, penggunaan osiloskop tidak memberi bacaan sudut yang betul-betul tepat kepada pelajar. Ia juga tidak mesra pengguna di mana pelajar perlu terlebih dahulu melakukan *calibration* ataupun perlu melaraskan osiloskop supaya pengukurannya menjadi tepat.

### 1.3 Objektif Projek

Daripada pernyataan masalah di atas, satu eksperimen dilakukan bertujuan untuk mendapatkan satu kaedah baru dalam membuat pengukuran sudut fasa arus ulang-alik. Hasil daripada kajian ini mensasarkan beberapa objektif utama seperti berikut :-

- Menghasilkan satu kaedah baru untuk mengukur sudut fasa voltan arus ulang alik (*AC voltage*).
- Menggunakan litar anjakan fasa bolehubah sebagai komponen utama. Ini kerana projek ini kelak akan menggunakan kaedah perbandingan antara dua punca voltan dalam menentukan sudut fasa.

Di samping itu, projek ini juga mempunyai objektif sampingan yang baik untuk pelajar. Antaranya ialah :-

- Menjadikan kaedah ini sebagai kaedah yang mesra pengguna dan menjimatkan kos. Ini bermaksud, pelajar sendiri dapat merekabentuk litar ini dan melakukan eksperimen untuk menentukan sudut fasa.
- Membantu pelajar untuk lebih memahami konsep vektor dalam arus ulang-alik secara lebih berkesan secara praktikal iaitu dengan cara melakukan eksperimen.

## 1.4 Skop Projek

Skop projek ini adalah berkisar kepada kajian mengenai asas vector di dalam arus ulang alik (AU). Dalam melaksanakan projek ini, satu litar anjakan fasa atau lebih dikenali sebagai *phase shifting circuit* perlu direkabentuk. Pemahaman mengenai ciri-ciri litar anjakan fasa diperlukan dalam melaksanakan projek ini. Litar anjakan fasa tersebut hendaklah mempunyai ciri-ciri seperti berikut :-

- Bolehubah atau boleh menganjak sudut fasa dari  $0^\circ$  sehingga  $90^\circ$ .
- Boleh menganjak sudut fasa pada frekuensi 50 Hz. Sepertimana yang kita ketahui, frekuensi asas yang digunakan di Malaysia adalah pada nilai tersebut.
- Menggunakan litar rangkaian RC sebagai komponen utama litar.

Sebagai eksperimen, pengukuran sudut fasa yang akan dilakukan adalah pada voltan rendah. Magnitud voltan yang akan diukur adalah memadai dilakukan sehingga 10 V sahaja.

## BAB II

### KAJIAN ILMIAH

Kajian ilmiah dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan idea-idea dan gambaran yang jelas ketika proses pelaksanaan projek. Beberapa kajian telah dilakukan mengenai tajuk-tajuk yang berkaitan dengan projek. Buku dan jurnal dijadikan sebagai rujukan. Berikut adalah kajian yang telah dibuat :-

#### 2.1 Cara untuk menghasilkan penganjak fasa bolehubah $0^\circ$ hingga $180^\circ$ menggunakan kaedah gandaan frekuensi [2].

Pertama sekali, penganjak fasa  $90^\circ$  dihasilkan dengan menggunakan litar rangkaian RC. Dengan menggunakan kaedah penambahan vektor (*vector summation*), penganjak fasa bolehubah  $0^\circ$  ke  $180^\circ$  dihasilkan dengan menggunakan *potentiometer*. Isyarat yang dihasilkan akan melalui pengganda (*multiplier*) di mana gelombang tersebut digandakan dengan gelombang itu sendiri dan menghasilkan isyarat dengan dua kali frekuensi dan dua kali sudut fasa. Dalam keadaan ini, jarak anjakan fasa akan mengunjur dari  $0^\circ$  ke  $180^\circ$ . Seterusnya, *high-pass filter* digunakan bagi menghapuskan komponen DC yang terhasil di isyarat keluaran.

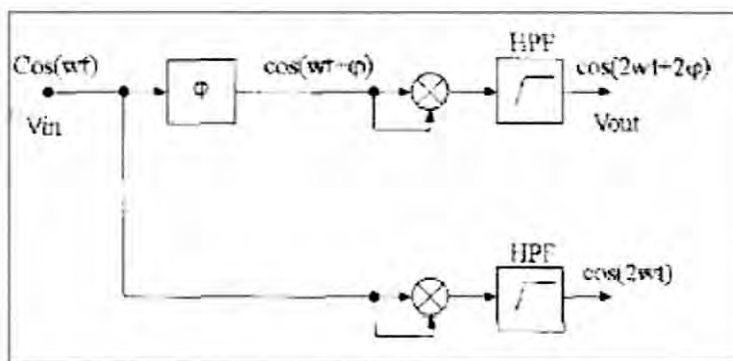
Operasi litar ini adalah berdasarkan fakta yang menyatakan bahawa jika isyarat sinusoidal,  $V_{in}$  digandakan dengan dirinya sendiri, isyarat keluaran,  $V_{out}$  yang terhasil akan

mengandungi DC *offset*, serta isyarat sinusoidal yang baru dengan dua kali frekuensi dan dua kali sudut fasa isyarat masukan.

$$V_{in} = \cos(2\omega \cdot t + \varphi) \quad (1)$$

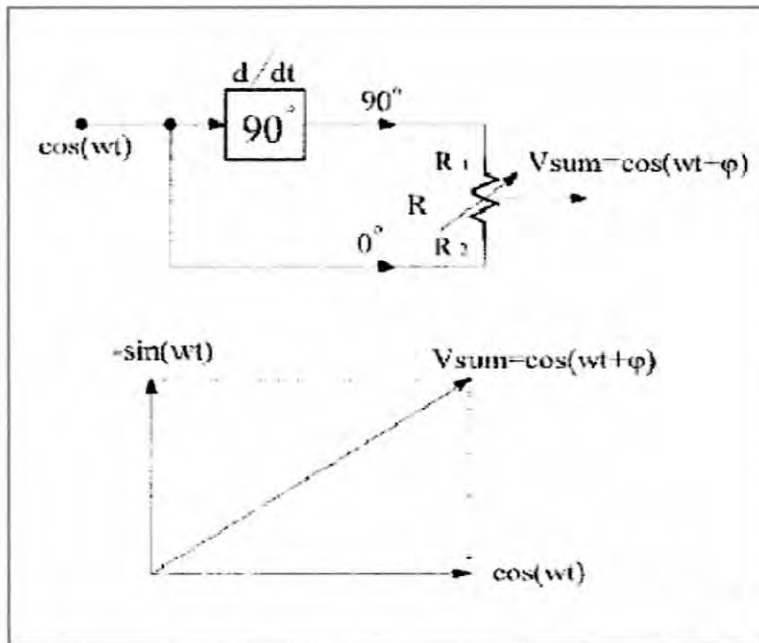
$$V_{out} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\omega \cdot t + 2\varphi) \quad (2)$$

Dengan cara ini, jika sudut fasa pada  $V_{in}$  adalah boleh dianjak dari  $0^\circ$  ke  $90^\circ$ , maka isyarat keluarannya boleh dianjak sehingga  $180^\circ$  selepas komponen DC dihapuskan dengan menggunakan *high-pass filter*.



Rajah 2.1: Gambarajah litar anjakan fasa yang dicadangkan.

Dalam Rajah 2.1, pengganda kedua digunakan pada bahagian bawah litar untuk mengganda frekuensi dari isyarat masukan bertujuan untuk digunakan sebagai isyarat rujukan. Dalam kajian ini, penganjak fasa bolehubah yang dihasilkan menggunakan kaedah penambahan vektor untuk menghasilkan anjakan fasa  $0^\circ$  ke  $90^\circ$ , seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



Rajah 2.2: Penganjakan fasa bolehubah  $90^\circ$  menggunakan penambahan vektor.

Litar pembeza ( $d/dt$ ) menghasilkan anjakan fasa  $90^\circ$  yang tetap,  $-\sin(\omega t)$ , di mana seterusnya akan ditambah dengan isyarat asal  $\cos(\omega t)$  dengan menggunakan *potentiometer*. Jika kedua-dua isyarat pada kedua-dua terminal pada *potentiometer* adalah pada magnitud yang sama, maka keluaran pada penambah vektor akan menjadi;

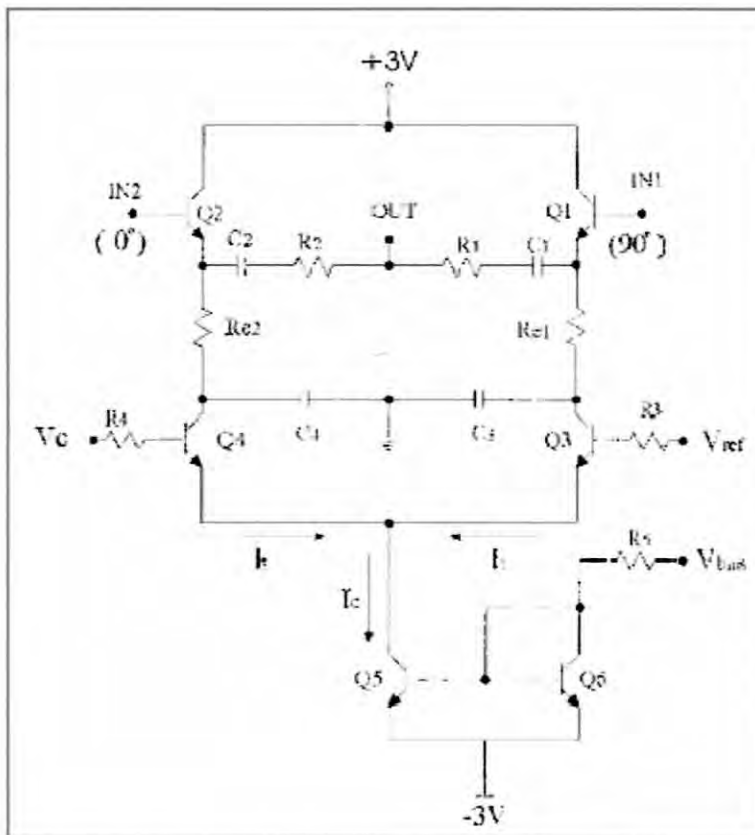
$$V_{sum} = \frac{\sqrt{(R-R_2)^2 + R_2^2}}{R} \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (3)$$

di mana  $R$  ialah jumlah rintangan *potentiometer* dan  $R^2$  ialah nilai rintangan yang paling rendah. Sudut fasa dapat dikira menggunakan persamaan  $\varphi = \tan^{-1}(R_2/(R - R_2))$ , di mana boleh dianjak dari  $0^\circ$  ke  $90^\circ$  dengan  $R_2$  berubah dari 0 ke  $R$ . Selepas isyarat di atas diganda dengannya sendiri dan ditapis dengan litar rangkaian *high-pass*, hasilnya akan menjadi;

$$V_{out} = \frac{(R-R_2)^2 + R_2^2}{2R^2} \cdot CL \cdot \cos(2\omega \cdot t + 2\varphi) \quad (4)$$

di mana,  $CL$  mewakili kehilangan pertukaran pada pengganda dan kehilangan pada penapis. Daripada persamaan (4), didapati bahawa sudut fasa keluaran diganda sebanyak dua kali, dengan itu menjarakkan sudut dari  $0^\circ$  ke  $180^\circ$ .

*Potentiometer* yang digunakan untuk penambahan vektor boleh digantikan dengan *electronics summing junction* bertujuan untuk membolehkan kawalan dilakukan secara elektronik. Rajah 2.3 menunjukkan litar yang digunakan untuk tujuan itu.



Rajah 2.3: *The electronics summing junction using differential pairs and emitter follower circuits.*

Sebagai kesimpulan, kaedah gandaan frekuensi ini boleh digunakan untuk menghasilkan penganjak fasa bolehubah  $0^\circ$  ke  $180^\circ$ . Kaedah ini juga boleh diaplikasikan dalam objektif projek iaitu untuk tujuan mengukur sudut fasa. Akan tetapi, binaan litarnya dilihat terlalu rumit dan menyukarkan pelajar untuk membina sendiri litar tersebut.

## 2.2 Meter sudut fasa



Rajah 2.4: Meter sudut fasa.

Terdapat pelbagai jenis alat ukur yang direka bertujuan untuk mengukur sudut fasa. Sebagai contoh, Rajah 2.4 menunjukkan PAM360™, sebuah meter sudut fasa yang dikeluarkan oleh syarikat Programma®. PAM360™ direkabentuk untuk melakukan ujian-ujian seperti mengetahui arah geganti perlindungan dan juga mengukur sudut fasa. Mengukur sudut dengan menggunakan meter mengukur sudut fasa adalah cara yang terbaik kerana ia direka khas untuk tujuan tersebut dan bacaan yang diperolehi pula sangat tepat dan jitu bacaannya. Jarak bacaan sudut yang mampu dilakukan oleh meter ini ialah dari 0° ke 359.9°.