

SKRIPSI

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KWH METER PRABAYAR PADA RUMAH SUSUN YANG MENGGUNAKAN JALA-JALA LISTRIK SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA DENGAN UNIT *SERVER*



Disusun Oleh :

ANDRI WINOTO TJANDRAYANA

NIM : 02.17.087

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2008**

REVIEWS

THESE BOOKS MAINTAINING THE MANAGEMENT
PRACTICES THAT WOULD BECOME THE BASIS
FOR THE OTHER BOOKS IN THE SERIES
AND THE OTHER BOOKS IN THE SERIES

THESE BOOKS MAINTAINING THE MANAGEMENT
PRACTICES THAT WOULD BECOME THE BASIS
FOR THE OTHER BOOKS IN THE SERIES

THESE BOOKS MAINTAINING THE MANAGEMENT
PRACTICES THAT WOULD BECOME THE BASIS
FOR THE OTHER BOOKS IN THE SERIES
AND THE OTHER BOOKS IN THE SERIES

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KWH METER PRABAYAR PADA RUMAH SUSUN YANG MENGGUNAKAN JALA-JALA LISTRIK SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA DENGAN UNIT *SERVER*

SKRIPSI

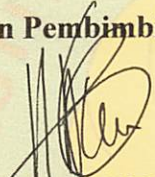
*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Elektronika*

Disusun Oleh :

ANDRI WINOTO TJANDRAYANA
NIM : 02.17.087

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I


Ir. Widodo Pudji M., MT
NIP.Y. 1028700171


Dosen Pembimbing II


Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189

Mengetahui,



Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 1039500274

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2008**



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

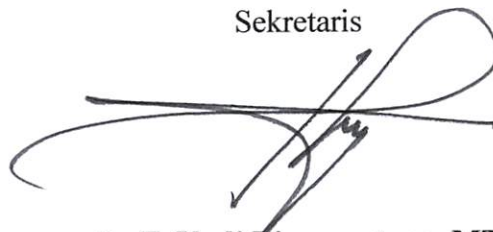
Nama : Andri Winoto Tjandrayana
NIM : 02.17.087
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Elektronika S-1
Judul Skripsi : Perancangan dan Pembuatan kWh Meter Prabayar pada Rumah Susun yang Menggunakan Jala-Jala Listrik sebagai Media Komunikasi Data dengan Unit *Server*

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)
pada :
Hari : Jumat
Tanggal : 26 September 2008
Dengan Nilai : 83,75 (A) *fy*

Panitia Ujian Skripsi



Ir. Mochtar Asroni, MSME
NIP.Y. 1018100036



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 1039500274

Anggota Penguji

Penguji I

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P. 1030100358

Penguji II

Ir. TH. Mimien Mustikawati, MT
NIP.P. 1030000352

ABSTRAKSI

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KWH METER PRABAYAR PADA RUMAH SUSUN YANG MENGGUNAKAN JALA-JALA LISTRIK SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA DENGAN UNIT *SERVER*

(Andri Winoto Tjandrayana, 02.17.087, Teknik Elektro S-1 / Elektronika)

Dosen Pembimbing : I. Ir. Widodo Pudji M., MT
II. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

Dewasa ini, telah dikembangkan suatu alat baru dalam penggunaan energi listrik, yaitu kWh meter prabayar. Penggunaan alat ini hampir sama dengan penggunaan kartu selular prabayar, jadi untuk mengisi ulang nominal kWh diperlukan kartu isi ulang. Berdasarkan pemikiran tersebut dirancang suatu alat penghitung energi listrik, kWh meter, prabayar yang diaplikasikan pada rumah susun, dimana tidak menggunakan kartu, tetapi nilai nominal kWh dikirimkan oleh *server* melalui jala-jala listrik.

Alat penghitung energi listrik ini menggunakan IC ADE7757 dengan memberikan keluaran berupa pulsa yang dapat dihubungkan langsung dengan mikrokontroler. Pulsa keluaran ini akan dihitung oleh mikrokontroler sehingga nominal kWh akan berkurang sesuai dengan pulsa terhitung dan akan ditampilkan pada LCD. Apabila sisa nominal kWh mencapai nilai minimum, maka *buzzer* akan aktif. Agar dapat berkomunikasi dengan *server*, maka digunakan modem PLC (*Power Line Carrier*) yang menggunakan IC LM1893N.

Dari pengujian didapatkan bahwa alat dapat berjalan dengan baik, yaitu dapat melakukan perhitungan pemakaian energi listrik dan berkomunikasi dengan *server* melalui jala-jala listrik. Namun perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang faktor-faktor yang dapat mengganggu kinerja sistem.

Kata Kunci : kWh meter prabayar, jala-jala listrik, komunikasi.

KATA PENGANTAR

Hanya oleh karena anugerah dan kasih Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi, yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan kWh Meter Prabayar pada Rumah Susun yang Menggunakan Jala-Jala Listrik sebagai Media Komunikasi Data dengan Unit *Server*”, dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan studi di Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Elektronika ITN Malang dan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.

Keberhasilan penyelesaian laporan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
2. Bapak Ir. Widodo Pudji M., MT, selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT., selaku Dosen Pembimbing II.
4. Seluruh keluarga yang telah memberikan doa, dukungan, semangat, dan biaya.
5. Semua yang telah membantu dalam penyelesaian penyusunan skripsi ini.

Penyusun telah berusaha semaksimal mungkin dan menyadari sepenuhnya akan keterbatasan pengetahuan dalam menyelesaikan laporan

ini. Untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan ini.

Harapan penyusun semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan pembaca.

Malang, September 2008

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAKSI	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan.....	3
1.3. Rumusan Masalah.....	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Metodologi Penulisan	4
1.6. Sistematika Pembahasan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1. Listrik Prabayar.....	7
2.2. Perhitungan Energi Listrik.....	8
2.3. PLC (<i>Power Line Carrier</i>).....	10
2.4. IC Pengukur Energi Listrik ADE7757	12
2.4.1. Deskripsi Umum	12
2.4.2. Konfigurasi Pin ADE7757	13
2.4.3. Teori Operasi ADE7757.....	14
2.5. Mikrokontroler ATMEGA8515	17

2.5.1. Fungsi Pin Mikrokontroler ATMEGA8515	18
2.5.2. Memori	21
2.5.2.1. <i>Flash Memory</i>	22
2.5.2.2. SRAM	22
2.5.2.3. EEPROM	22
2.5.3. Sistem Interupsi	24
2.5.4. Komunikasi Serial	25
2.6. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	27
2.6.1. Deskripsi M1632	28
2.6.2. Sinyal <i>Interface</i> M1632	30
2.6. TRIAC	32
2.6. <i>Buzzer</i>	32
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	33
3.1. Pendahuluan	33
3.2. Perancangan Perangkat Keras	33
3.2.1. Spesifikasi Alat	33
3.2.2. Blok Diagram	34
3.2.3. Prinsip Kerja Alat	35
3.2.4. Perancangan Rangkaian Penghitung Energi Listrik	
Menggunakan IC ADE7757	36
3.2.4.1. Transduser Arus	37
3.2.4.2. Transduser Tegangan	38
3.2.5. Perancangan Rangkaian Mikrokontroler	

ATMEGA8515	40
3.2.6. Perancangan Rangkaian LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	41
3.2.7. Perancangan Rangkaian Saklar Otomatis.....	43
3.2.8. Perancangan Rangkaian <i>Buzzer</i>	44
3.3. Perancangan Perangkat Lunak	46
BAB IV PENGUJIAN ALAT	50
4.1. Pengujian Mikrokontroler ATMEGA8515 dan LCD.....	50
4.1.1. Tujuan.....	50
4.1.2. Peralatan yang Digunakan	50
4.1.3. Langkah-Langkah Pengujian.....	50
4.1.4. Data Hasil Pengujian	51
4.1.4. Analisa Data Hasil Pengujian	52
4.2. Pengujian Rangkaian Pengukur Energi Listrik ADE7757	
dalam Menghitung Energi Listrik	53
4.2.1. Tujuan.....	53
4.2.2. Peralatan yang Digunakan.....	53
4.2.3. Langkah-Langkah Pengujian.....	53
4.2.4. Data Hasil Pengujian	54
4.2.5. Analisa Data Hasil Pengujian.....	55
4.3. Pengujian Rangkaian <i>Buzzer</i>	59
4.3.1. Tujuan.....	59
4.3.2. Peralatan yang Digunakan.....	59
4.3.3. Langkah-Langkah Pengujian.....	59

4.3.4. Data Hasil Pengujian	59
4.3.5. Analisa Data Hasil Pengujian.....	60
4.4. Pengujian Keseluruhan Sistem.....	63
4.4.1. Pengujian Pengiriman Pulsa Prabayar.....	63
4.4.1.1. Tujuan	63
4.4.1.2. Peralatan yang Digunakan	63
4.4.1.3. Langkah-Langkah Pengujian	63
4.4.1.4. Data Hasil Pengujian	65
4.4.1.5. Analisa Data Hasil Pengujian	65
4.4.2. Pengujian Pemeriksaan Data Pelanggan	66
4.4.2.1. Tujuan	66
4.4.2.2. Peralatan yang Digunakan	66
4.4.2.3. Langkah-Langkah Pengujian	67
4.4.2.4. Data Hasil Pengujian	67
4.4.2.5. Analisa Data Hasil Pengujian	68
4.4.3. Pengujian Pengendalian (<i>On/Off</i>) kWh Meter Pelanggan...	68
4.4.3.1. Tujuan	68
4.4.3.2. Peralatan yang Digunakan	68
4.4.3.3. Langkah-Langkah Pengujian	68
4.4.3.4. Data Hasil Pengujian	69
4.4.3.5. Analisa Data Hasil Pengujian	69
BAB V PENUTUP	71
5.1. Kesimpulan.....	71

5.2. Saran..... 71

DAFTAR PUSTAKA 73

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

2.1 Fungsi Pin ADE7757	13
2.2 Pemilihan Frekuensi F_{1-4}	16
2.3 Frekuensi Keluaran Maksimum pada Pin CF	17
2.4 Fungsi Alternatif Port B	19
2.5 Fungsi Alternatif Port D	20
2.6 Fungsi Alternatif Port E	21
2.7 Reset dan Alamat Vektor Interupsi ATMEGA8515	25
2.8 Rumus Menghitung <i>Baudrate</i>	26
2.9 Pemilihan Register pada LCD M1632	28
2.10 Fungsi Pin pada LCD	30
4.1 Data Keluaran pada Port A.....	52
4.2 Hasil Hasil Pengujian Rangkaian Pengukur Energi Listrik ADE7757.....	54
4.3 Perbandingan Perhitungan Energi Listrik	58
4.4 Data Hasil Pengujian Rangkaian <i>Buzzer</i>	60
4.5 Perbandingan Pengujian Rangkaian <i>Buzzer</i>	62
4.6 Data Hasil Pengujian Pengiriman Pulsa Prabayar.....	65
4.7 Data Hasil Pengujian Akumulasi Pengisian Ulang Pulsa Prabayar.....	65
4.8 Data Hasil Pengujian Pemeriksaan Otomatis Data Pelanggan.....	67
4.9 Data Hasil Pengujian Pengontrolan Aliran Listrik ke Pelanggan	69

DAFTAR GAMBAR

2.1	KWh Meter Prabayar dengan <i>Smart Card</i>	8
2.2	PLC dengan Kapasitor Jenis Penyaring	11
2.3	Diagram Blok ADE7757	12
2.4	Konfigurasi Pin ADE7757	13
2.5	Diagram Blok Pemrosesan Sinyal ADE7757.....	15
2.6	Konfigurasi Pin ATMEGA8515	18
2.7	Format Pengiriman Data	27
2.8	Modul LCD 2 x 16 Karakter	29
2.9	Simbol TRIAC	32
3.1	Blok Diagram Keseluruhan Alat	34
3.2	Diagram Blok Rangkaian ADE7757	36
3.3	Rangkaian IC ADE7757.....	37
3.4	Rangkaian Penurun Tegangan.....	39
3.5	Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA8515	40
3.6	Rangkaian LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	42
3.7	Rangkaian <i>Switch</i>	43
3.8	Rangkaian <i>Buzzer</i>	44
3.9	Diagram Alir Utama.....	47
3.10	Diagram Alir Pengurangan Pulsa kWh Meter.....	48
3.11	Diagram Alir Komunikasi dengan <i>Server</i>	49
4.1	Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler dan LCD.....	51
4.2	Rangkaian LED	51

4.3	Tampilan Karakter pada LCD	52
4.4	Diagram Blok Pengujian Energi Listrik.....	54
4.5	Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem	63
4.6	Program Aplikasi pada <i>Server</i>	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seperti diketahui bahwa hingga saat ini, pemakaian rumah susun (rusun) sebagai tempat tinggal masih menjadi alternatif bagi mereka yang rata-rata berpenghasilan rendah. Fasilitas yang selalu disediakan di rusun adalah air dan listrik, sedangkan fasilitas lain tergantung pada kebijakan pengelola rumah susun. Untuk biaya sewa yang diberikan bervariasi. Biaya sewa rumah bisa dihitung per bulan atau per tahun, sedangkan biaya air dan listrik tergantung pada pemakaian tiap bulannya.

Untuk dapat mengetahui besarnya energi listrik yang terpakai, maka pada tiap-tiap rumah di rusun dipasang alat penghitung energi listrik berupa kWh meter. Umumnya kWh meter yang digunakan masih berupa kWh meter analog atau disebut juga kWh elektromekanik.

Namun cara seperti ini mempunyai beberapa kelemahan, yaitu: pertama kemungkinan adanya kesalahan dalam pembacaan angka pada kWh meter. Kedua, seringkali terjadi penunggakan kewajiban penghuni rumah susun dalam membayar tagihan rekening listrik, sehingga hal ini jelas merugikan pihak pengelola rusun. Ketiga, adanya ancaman pemutusan sementara akibat pembayaran yang terlambat.

Dewasa ini, mulai banyak dikembangkan suatu sistem pembayaran listrik prabayar dengan menggunakan kartu isi ulang. Dimana sistem kerjanya hampir sama dengan sistem kartu prabayar telepon selular. Kartu isi ulang yang diberi

nilai nominal dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan energi listrik, sehingga pada produk meter Prabayar telah dilengkapi dengan mesin pembaca kartu. Nominal pada kartu isi ulang berbentuk jumlah uang. Jumlahnya akan berkurang sesuai pemakaian listrik, sama seperti penggunaan kartu telepon Prabayar.

Berdasarkan hal-hal di atas, penulis akan merancang dan membuat *prototype* kWh meter digital Prabayar pada rumah susun berbasis Mikrokontroler ATMEGA8515 yang mendukung sistem komunikasi data dengan unit *server* melalui jala-jala listrik. Sistem yang akan dirancang dan dibuat terdiri dari dua bagian, yaitu unit penghitung pemakaian energi listrik yang diletakkan di tiap-tiap rumah susun dan unit *server* data yang diletakkan di ruang kontrol.

Pada sistem ini, alat yang akan dirancang dan dibuat tidak menggunakan kartu, tetapi nominal kWh yang dibeli akan dikirimkan ke rumah penghuni melalui jala-jala listrik. Dengan sistem ini, bagi PLN maupun pengelola rumah susun dapat memberikan keuntungan, yaitu: pertama, pengambilan data besarnya pemakaian energi listrik dapat dilakukan tanpa harus datang langsung ke tiap-tiap rumah. Kedua, pengelola rumah susun tidak perlu khawatir akan terjadinya penunggakan pembayaran rekening listrik penghuni rumah susun. Sedangkan keuntungan yang didapat oleh penghuni rumah susun adalah: pertama, dapat terhindar dari kesalahan dalam pembacaan meter. Kedua, tidak perlu membayar uang jaminan langganan (UJL). Ketiga, dapat terhindar dari ancaman pemutusan listrik sementara, karena sistem ini juga dilengkapi dengan *buzzer* sebagai penanda (alarm) apabila jumlah nominal kWh telah mencapai batas minimum yang telah ditetapkan.

1.2. Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk merancang dan membuat kWh meter prabayar pada rumah susun yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data dengan unit *server*.

1.3. Rumusan Masalah

Dalam skripsi ini hanya membahas perancangan dan pembuatan kWh meter prabayar, karena unit *server* data dari sistem tersebut telah dibahas pada judul skripsi yang lain. Pada unit ini, dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat alat ukur energi listrik (*watt-hour meter*) menggunakan IC AD7757?
2. Bagaimana merancang minimum sistem mikrokontroler untuk *interface* dengan IC AD7757 dan LCD?
3. Bagaimana merancang dan membuat software mikrokontroler ATMEGA8515 untuk menghitung pemakaian energi listrik dan sisa nominal kWh serta menampilkannya pada LCD?
4. Bagaimana merancang dan membuat software mikrokontroler ATMEGA8515 untuk mengontrol jalannya komunikasi data dengan unit *server*?

1.4. Batasan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang ada, maka pada skripsi ini dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Membahas bagian unit penghitung pemakaian energi listrik pada sistem kWh meter Prabayar.
2. Menggunakan IC ADE7757 sebagai alat ukur energi listrik.
3. Jala-jala yang digunakan adalah satu fasa dengan tegangan sebesar 220 Volt dan frekuensi 50 Hz.
4. Daya yang digunakan sebesar 900 VA.
5. Tidak membahas tentang keamanan data komunikasi.
6. Parameter keberhasilan alat adalah dapat menghitung besarnya energi listrik sesuai dengan beban terpakai dan dapat melakukan komunikasi data dengan unit *server*.

1.5. Metodologi Penulisan

Metode yang digunakan dalam menyusun dan menganalisa laporan skripsi ini adalah:

1. Studi Literatur

Dengan mencari referensi-referensi yang berhubungan dengan perencanaan dan pembuatan alat yang akan dibuat.

2. Field Research

Dengan melakukan penelitian secara langsung mengenai objek-objek yang berhubungan langsung dengan perencanaan alat yang akan dibuat.

3. Perencanaan Dan Pembuatan Alat

Dalam pembuatan alat ini menggunakan konsep sebagai berikut :

- Perencanaan sistem secara keseluruhan (pembuatan blok diagram sistem).
- Mendeskripsikan fungsi dari masing-masing blok diagram.
- Membuat perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunaknya (*software*).

4. Pengujian Alat

Dengan melakukan pengujian per blok rangkaian dan kerja seluruh sistem pada alat tersebut.

5. Penyusunan Laporan Skripsi

Membuat laporan yang terdiri dari: Pendahuluan, Landasan Teori, Perencanaan dan Pembuatan Alat, Pengujian Alat dan Penutup.

1.6. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dari skripsi ini terdiri dari pokok pembahasan yang saling berkaitan antara satu dengan lainnya, yaitu :

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi pembahasan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Teori Penunjang

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III Perencanaan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan realisasi alat.

BAB IV Pengujian Alat

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian dan dasar-dasar pembuatan kWh meter Prabayar pada rumah susun yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data, maka perlu adanya penjelasan serta uraian teori-teori penunjang sebagai acuan.

Teori-teori penunjang yang dibahas dalam bab ini adalah sebagai berikut:

1. Listrik Prabayar
2. Perhitungan Energi Listrik
3. PLC (*Power Line Carrier*)
4. IC Pengukur Energi Listrik ADE7757
5. Mikrokontroler ATMEGA8515
6. LCD (*Liquid Crystal Display*)
7. TRIAC
8. *Buzzer*

2.1. Listrik Prabayar

Dewasa ini, sistem pembayaran rekening listrik di Indonesia tidak hanya menggunakan metode pascabayar, tetapi PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) juga mengembangkan suatu metode listrik Prabayar. Dengan adanya metode baru ini, diharapkan PT. PLN dapat semakin berbenah dan meningkatkan mutu pelayanannya bagi konsumen/pelanggan.

Penggunaan listrik Prabayar yang ada sekarang secara umum sama dengan penggunaan kartu selular Prabayar. Pelanggan dapat mengisi nominal energi listrik seperti membeli pulsa telepon selular. Nominal energi listrik dapat dikemas dalam bentuk nominal uang atau nilai kWh yang diisikan ke meteran, kemudian energi listrik dapat digunakan oleh pelanggan. Sedangkan nominal energi listrik akan berkurang secara otomatis sesuai dengan beban yang digunakan.



Gambar 2.1 KWh Meter Prabayar dengan *Smart Card*
Sumber: <http://indonetwork.co.id/osmondconsulting/prod>

Cara pengisian nominal energi listrik ke pelanggan bisa melalui berbagai media, seperti: menggunakan kartu isi ulang, dikirim melalui frekuensi radio, ataupun dikirim melalui jala-jala listrik (*Power Line Carrier Communication*).

2.2. Perhitungan Energi Listrik

Energi listrik adalah pemakaian daya (P) dalam satuan waktu (t) yang menggunakan satuan *joule*. Persamaan 2-1 menunjukkan bagaimana perhitungan energi listrik:

$$E = P \cdot t \quad (2-1)$$

dimana:

E = Energi (*Joule*)

P = Daya (*Watt*)

t = Waktu (*detik*)

Sebagai contoh, jika kita memiliki lampu pijar dengan nominal 40 *Watt*, maka energi yang digunakan selama 1 jam adalah $40 \times 3600 = 144 \text{ kJ}$.

Perhitungan pemakaian energi listrik di Indonesia menggunakan satuan kWh (*kilo Watt hour*), dimana 3,6 *MegaJoule* adalah sama dengan 1 kWh. Secara umum perhitungan daya listrik dapat di bedakan menjadi tiga macam, yaitu:

1. Daya aktif (P)

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (Watt)} \quad (2-2)$$

2. Daya reaktif (Q)

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (VAR)} \quad (2-3)$$

3. Daya kompleks (S)

$$S = V \cdot I \text{ (VA)} \quad (2-4)$$

dengan:

V = Tegangan (*Volt*)

I = Arus (*Ampere*)

φ = Beda fasa antara tegangan dan arus

Hubungan dari ketiga daya dapat dituliskan dengan rumus berikut:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2-5)$$

$$S = \sqrt{(V \cdot I)^2 \cdot (\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi)}$$

$$S = V \cdot I$$

2.3. PLC (*Power Line Carrier*)

Power Line Carrier (PLC) adalah salah satu sistem telekomunikasi yang sinyalnya ditumpangin pada jaringan tenaga listrik dengan frekuensi arus pembawa yang berbeda dengan frekuensi arus pada jaringan tenaga listrik, sehingga jaringan tenaga listrik menjadi media transmisi.

Ada dua cara dalam menghubungkan suatu peralatan komunikasi dengan jaringan tenaga listrik (Munandar, 1975), yaitu:

1. PLC terhubung induktif, yaitu menempatkan penghantar yang berfungsi sebagai antena dengan arah paralel terhadap penghantar jaringan tenaga listrik untuk jarak tertentu. Tetapi sistem ini jarang digunakan.
2. PLC terhubung kapasitif, yaitu menghubungkan peralatan komunikasi dengan jaringan tenaga listrik lewat kapasitor.

Fungsi kapasitor adalah sebagai penahan arus AC yang memiliki frekuensi berbeda dengan frekuensi pembawa pada peralatan komunikasi. Impedansi kapasitif ditentukan oleh persamaan berikut:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (2-6)$$

dengan:

X_C = Impedansi kapasitif (Ω)

f = frekuensi (Hz)

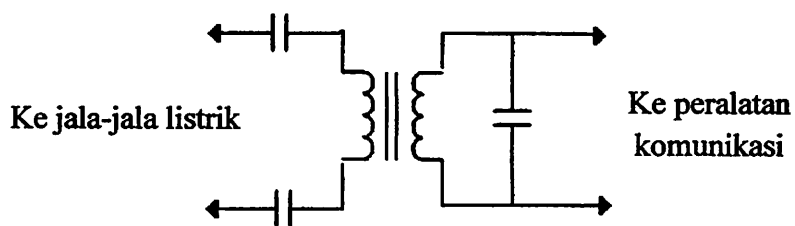
C = Kapasitansi (F)

Maka nilai X_c dapat ditentukan dengan cara mengatur nilai C sehingga didapatkan nilai X_c sesuai dengan kebutuhan. Untuk frekuensi arus jala-jala X_c bernilai sangat besar sehingga arus yang mengalir ke peralatan komunikasi sangat kecil, demikian pula sebaliknya jika yang mengalir adalah arus dengan frekuensi tinggi (frekuensi peralatan komunikasi) maka X_c bernilai sangat rendah sehingga arus dapat dialirkan pada rangkaian.

Ada dua jenis hubungan dengan kapasitor:

1. Penghubung kapasitor jenis penala (*tunning type*), yaitu kapasitor merupakan bagian dari alat penala yang dihubungkan seri dengan jaringan tenaga listrik.
2. Penghubung kapasitor jenis penyaring (*filter type*), yaitu kapasitor penggandeng merupakan jaringan berkutub 4 dan menggandengkan peralatan komunikasi dengan jaringan tenaga listrik.

Gambar 2.2 menunjukkan rangkaian penghubung antara peralatan komunikasi dengan jala-jala listrik.



Gambar 2.2 PLC dengan Kapasitor Jenis Penyaring
Sumber: Dewi, Ervin Masita, 2001

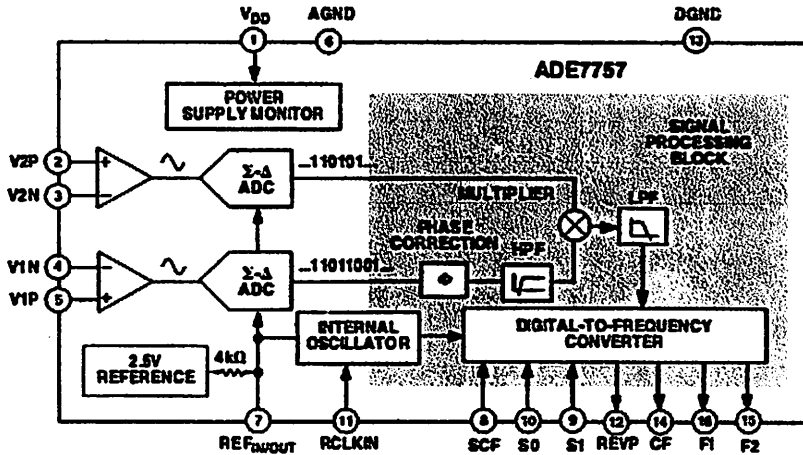
2.4. IC Pengukur Energi Listrik ADE7757

ADE7757 adalah *chip*, dengan osilator internal, yang didesain secara khusus oleh Analog Devices untuk aplikasi pengukuran energi listrik.

2.4.1. Deskripsi Umum

ADE7757 merupakan IC pengukur energi listrik yang tingkat akurasiya tinggi. IC ADE7757 secara langsung dihubungkan dengan resistor *shunt* dan hanya bekerja dengan input AC.

Rangkaian analog dalam ADE7757 hanya terdapat pada bagian ADC dan rangkaian referensinya. Seluruh pemrosesan sinyal lain (seperti multiplikasi dan penyaringan) dijalankan dalam lingkup digital. Pengolahan sinyal dalam bentuk digital inilah yang menghasilkan kestabilan dan akurasi yang tinggi dari waktu ke waktu dan pada kondisi lingkungan yg ekstrim sekalipun.

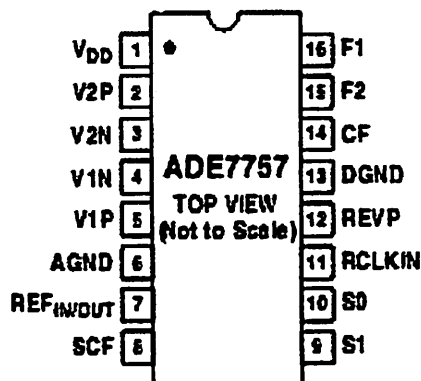


Gambar 2.3 Diagram Blok ADE7757
Sumber : Datasheet ADE7757, 2003

ADE7757 memberikan informasi daya nyata rata-rata (*average real power*) pada keluaran frekuensi rendah pin F1 dan F2. Keluaran ini dapat digunakan untuk menggerakkan langsung suatu penghitung elektromekanik atau

dihubungkan ke mikrokontroler. Keluaran logika frekuensi tinggi pada pin CF digunakan untuk keperluan kalibrasi, menghasilkan informasi daya nyata sesaat.

2.4.2. Konfigurasi Pin ADE7757



Gambar 2.4 Konfigurasi Pin ADE7757
 Sumber: Datasheet ADE7757, 2003

Tabel 2.1 menjelaskan fungsi pin-pin ADE7757 seperti yang terdapat dalam Gambar 2.4.

Tabel 2.1 Fungsi Pin ADE7757

No.Pin	Nama	Fungsi
1	V _{DD}	<i>Power Supply.</i> Pin sebagai masukan tegangan sumber bagi rangkaian internal ADE7757. Pin ini harus diparalelkan dengan kapasitor elektrolit 10µF dan kapasitor keramik 100nF.
2, 3	V2P, V2N	<i>Analog Inputs for Channel V2 (voltage channel).</i> Pin ini merupakan masukan analog dari tranduser tegangan listrik. Terdiri dari sepasang <i>input differential</i> . Tegangan maksimum <i>input differential</i> adalah sebesar ±165mV.
4, 5	V1N, V1P	<i>Analog Inputs for Channel V1 (current channel).</i> Pin ini merupakan masukan analog dari tranduser arus listrik. Masukannya berupa tegangan diferensial dengan

		sinyal maksimum sebesar $\pm 30\text{mV}$ pada pin V1N.
6	AGND	Pin ini berfungsi sebagai referensi tegangan <i>ground</i> bagi rangkaian analog, yaitu: ADC dan rangkaian referensi.
7	REF _{IN/OUT}	Pin ini menyediakan akses ke rangkaian tegangan referensi internal. Tegangan referensi internal bernilai 2,5V dan koefisien suhu normal pada 20 ppm/°C. Sebuah sumber referensi eksternal juga dapat dihubungkan dengan pin ini.
8	SCF	<i>Select Calibration Frequency.</i> Pin ini digunakan untuk memilih frekuensi pada pin CF.
9, 10	S1, S0	Pin ini digunakan untuk memilih satu dari empat frekuensi bagi proses konversi sinyal digital ke frekuensi.
11	RCLKIN	Agar rangkaian <i>oscillator</i> internal berfungsi sebagai sumber pulsa <i>clock</i> , maka pin ini harus dihubungkan dengan resistor <i>drift</i> bersuhu rendah bernilai 6,2k Ω dan DGND.
12	REVP	Logika <i>high</i> (tinggi) akan dihasilkan pin ini, jika terdeteksi adanya daya bernilai negatif, yaitu ketika besar sudut fasa antara sinyal tegangan dan arus lebih besar dari 90°. Keluaran ini akan bernilai <i>high</i> atau <i>low</i> pada waktu sebuah getaran dihasilkan oleh CF.
13	DGND	Pin ini berfungsi sebagai referensi tegangan <i>ground</i> bagi rangkaian digital, yaitu: rangkaian pengali, filter dan <i>digital-to-frequency converter</i> .
14	CF	<i>Calibration Frequency Logic Output.</i> Pin ini menghasilkan informasi daya nyata sesaat, sehingga ditujukan untuk keperluan kalibrasi.
15, 16	F2, F1	<i>Low Frequency Logic Output.</i> Pin ini menghasilkan informasi daya nyata rata-rata. Logika keluarannya dapat digunakan untuk menggerakkan langsung penghitung elektromekanik dan motor stepper 2 fasa.

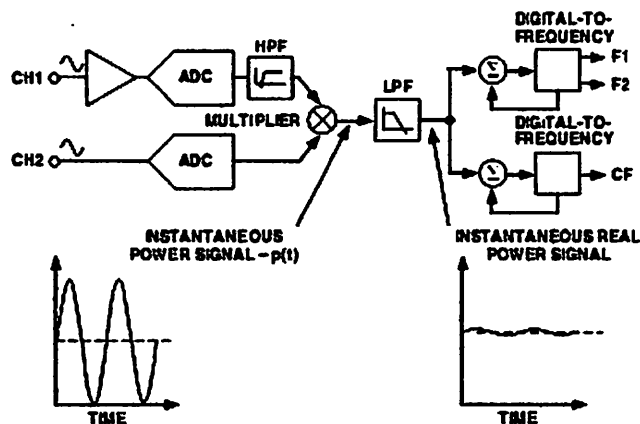
Sumber: Datasheet ADE7757, 2003

2.4.3. Teori Operasi ADE7757

Sinyal arus dan tegangan, yang dihasilkan oleh transduser, diubah ke dalam bentuk digital oleh ADC 16 bit, dengan tingkat *oversampling* 450 kHz. Sebuah *high pass filter* (HPF) yang terdapat pada saluran arus (*current channel*) berfungsi menghilangkan semua komponen DC dari sinyal arus. Oleh karena itu, IC ADE7757 hanya akan bekerja dengan masukan berupa sinyal AC.

Perhitungan daya nyata diperoleh dari sinyal daya sesaat, yang dihasilkan dari perkalian langsung sinyal arus dan tegangan hasil *sampling* ADC. Untuk memperoleh komponen daya nyata, sinyal daya sesaat di-*filter* menggunakan *low pass filter*, kemudian daya nyata yang didapat diubah dalam bentuk frekuensi.

Gambar 2.5 menjelaskan bagaimana daya nyata dapat dihasilkan oleh IC ADE7757.



Gambar 2.5 Diagram Blok Pemrosesan Sinyal ADE 7757
 Sumber: Datasheet ADE 7757, 2003

Pemrosesan sinyal memberikan perhitungan daya nyata yang tepat untuk sinyal arus dan tegangan sinusoida dalam semua faktor daya. Semua pemrosesan sinyal dibuat dalam bentuk digital agar diperoleh hasil yang lebih akurat dan memiliki kestabilan terhadap pengaruh suhu dan waktu penggunaan.

Keluaran frekuensi rendah (F1, F2) pada ADE7757 dihasilkan dengan mengumpulkan informasi daya nyata. Sehingga, hasil keluaran frekuensi ini sebanding dengan daya nyata rata-rata, yang dapat dihubungkan dengan sebuah *counter* untuk menghasilkan informasi energi nyata. Sebaliknya, karena keluaran frekuensi tinggi dan waktu integrasi yang lebih pendek, sehingga keluaran frekuensi CF sebanding dengan daya nyata sesaat. Keluaran ini berguna untuk

sistem kalibrasi, yang dapat bekerja lebih cepat dalam kondisi beban tetap.

Besarnya frekuensi yang keluar dari pin F1 dan F2 ditunjukkan pada persamaan 2-7 berikut:

$$Freq = \frac{515,84 \times V1_{rms} \times V2_{rms} \times F_{1-4}}{V_{REF}^2} \quad (2-7)$$

dimana:

$Freq$ = Frekuensi keluaran pada pin F1 dan F2 (Hz)

$V1_{rms}$ = Tegangan diferensial (rms) pada *channel* V1 (Volt)

$V2_{rms}$ = Tegangan diferensial (rms) pada *channel* V2 (Volt)

V_{REF} = Tegangan referensi sebesar 2,5V ± 8%

F_{1-4} = Frekuensi kerja *digital-to-frequency converter* yang dipilih

Tabel 2.2 menunjukkan pemilihan frekuensi F_{1-4} dengan mengatur logika pada pin S1 dan S0.

Tabel 2.2 Pemilihan Frekuensi F_{1-4}

S1	S0	F_{1-4} (Hz)
0	0	0,86
0	1	1,75
1	0	3,44
1	1	6.86

Sumber: Datasheet ADE 7757, 2003

Sedangkan besarnya frekuensi maksimum yang keluar dari pin CF ditentukan oleh pengaturan logika pada pin S1, S0 dan SCF.

Tabel 2.3 Frekuensi Keluaran Maksimum pada Pin CF

SCF	S1	S0	Keluaran Pin CF (Hz)
1	0	0	128 x F1, F2 = 22,4
0	0	0	64 x F1, F2 = 11,2
1	0	1	64 x F1, F2 = 22,4
0	0	1	32 x F1, F2 = 11,2
1	1	0	32 x F1, F2 = 22,4
0	1	0	16 x F1, F2 = 11,2
1	1	1	16 x F1, F2 = 22,4
0	1	1	2048 x F1, F2 = 2.867

Sumber: Datasheet ADE 7757, 2003

2.5. Mikrokontroler ATMEGA8515

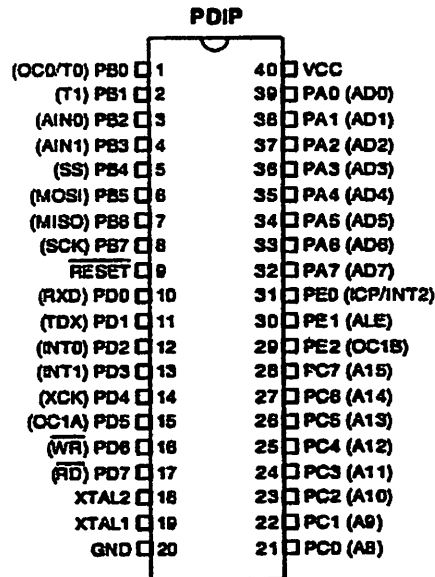
Mikrokontroler ATMEGA8515 yang diproduksi oleh Atmel Corporation Amerika Serikat merupakan salah satu anggota keluarga dari jenis AVR. IC jenis ini berorientasi pada kontrol yang dapat diprogram ulang. Mikrokontroler ATMEGA8515 mempunyai karakteristik utama sebagai berikut:

1. CPU (*Central Processing Unit*) yang terdiri dari 32 buah register
2. Saluran I/O sebanyak 35 buah, yaitu: empat buah I/O 8 bit dan sebuah I/O 3 bit
3. USART (*Universal Synchronous Asynchronous serial Receiver and Transmitter*) *full duplex*
4. Satu buah *timer/counter* 8 bit dan 16 bit
5. Tiga buah pin PWM
6. Unit interupsi eksternal dan internal

7. *Watchdog Timer* dengan osilator internal terdapat dalam *chip*
8. Ruang memori program (*Flash Memory*) sebesar 8 Kbyte
9. Ruang memori data (SRAM) sebesar 512 byte
10. EEPROM sebesar 512 byte untuk memori pada *chip*
11. Port antarmuka SPI

2.5.1. Fungsi Pin Mikrokontroler ATMEGA8515

Gambar 2.6 dibawah ini memperlihatkan struktur pin-pin yang terdapat pada ATMEGA8515.



Gambar 2.6 Konfigurasi Pin ATMEGA8515
 Sumber: Datasheet ATMEGA8515, 2006

Mikrokontroler ATMEGA8515 memiliki 5 buah port. Empat buah port memiliki 8 buah jalur I/O dan sebuah port memiliki 3 buah jalur I/O yang bersifat *bidirectional* (dua arah). Port-port ini dapat dihubungkan dengan berbagai macam komponen elektronika lainnya yang akan diatur oleh mikrokontroler

seperti LCD, EEPROM, relay, sensor dan lain sebagainya. Beberapa karakteristik port mikrokontroler ATMEGA8515 dijelaskan secara singkat berikut ini :

1. VCC

Pin yang dihubungkan dengan sumber tegangan.

2. GND

Pin yang dihubungkan dengan *ground*.

3. Port A (PA7-PA0)

Merupakan port I/O 8 bit dua arah dengan resistor *pull up* internal. Fungsi alternatif dari port A adalah sebagai jalur alamat dan data pada saat mengakses memori eksternal yaitu AD0-AD7.

4. Port B (PB7-PB0)

Merupakan port I/O 8 bit dua arah dengan resistor *pull up* internal. Fungsi alternatif dari port B seperti yang terlihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Fungsi Alternatif Port B

Port Pin	Fungsi Alternatif
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB4	SS (SPI Slave Select Input)
PB3	AN1 (Analog Comparator Negative Input)
PB2	AN2 (Analog Comparator Positive Input)
PB1	T1 (Timer/Counter 1 External Counter Input)

PB0	T0 (<i>Timer/Counter 0 External Counter Input</i>) OCO (<i>Timer/Counter 0 Output Compare Match Output</i>)
-----	--

Sumber: Datasheet ATMEGA8515, 2006

5. Port C (PC7-PC0)

Merupakan port I/O 8 bit dua arah dengan resistor *pull up* internal. Fungsi alternatif dari port C adalah sebagai jalur alamat atas pada saat akses memori eksternal yaitu A8-A15.

6. Port D (PD7-PD0)

Merupakan port I/O 8 bit dua arah dengan resistor *pull up* internal. Fungsi alternatif dari port D seperti yang terlihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Fungsi Alternatif Port D

Port Pin	Fungsi Alternatif
PD7	\overline{RD} (<i>Read Strobe to External Memory</i>)
PD6	\overline{WR} (<i>Write Strobe to External Memory</i>)
PD5	OC1A (<i>Timer/Counter 1 Output Compare A Match Output</i>)
PD4	XCK (<i>USART External Clock Input/Output</i>)
PD3	INT1 (<i>External Interrupt 1 Input</i>)
PD2	INT0 (<i>External Interrupt 0 Input</i>)
PD1	TXD (<i>USART Output Pin</i>)
PD0	RXD (<i>USART Input Pin</i>)

Sumber: Datasheet ATMEGA8515, 2006

7. Port E (PE2-PE0)

Merupakan port I/O 3 bit dua arah dengan resistor *pull up* internal. Fungsi alternatif dari port E seperti yang terlihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Fungsi Alternatif Port E

Port Pin	Fungsi Alternatif
PE2	OC1B (<i>Timer/Counter 1 Output Compare B Match Output</i>)
PE1	ALE (<i>Address Latch Enable to External Memory</i>)
PE0	ICP (<i>Timer/Counter 1 Input Capture Pin</i>) INT2 (<i>External Interrupt 2 Input</i>)

Sumber: Datasheet ATMEGA8515, 2006

8. $\overline{\text{RESET}}$

Merupakan masukan reset bagi mikrokontroler. Reset akan aktif dengan memberikan logika *low* (0).

9. XTAL1

Merupakan masukan bagi *inverting oscillator amplifier* dan rangkaian operasi internal *clock*.

10. XTAL2

Merupakan keluaran dari *inverting oscillator amplifier*.

2.5.2. Memori

Arsitektur AVR memiliki dua ruang memori utama, yaitu: ruang memori data dan memori program. Sebagai tambahan, ATMEGA 8515 memiliki sebuah EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebagai

tempat penyimpanan data.

2.5.2.1. *Flash Memory*

Merupakan memori tempat penyimpanan program/instruksi-instruksi mikrokontroler. Memori ini berukuran 8 *kbytes* dan dapat ditulis ulang sebanyak 10.000 kali. Untuk keamanan software, ruang *Flash Memory* dibagi menjadi 2 bagian, yaitu: bagian *Boot Program* dan *Application Program*.

2.5.2.2. *SRAM (Static Random Access Memory)*

Merupakan memori tempat penyimpanan data yang bersifat sementara. Data pada memori ini akan hilang apabila catu daya dimatikan. Terdiri dari 608 lokasi alamat data memori, yang terdiri dari 96 lokasi alamat *Register File* dan *I/O Memory* serta 512 lokasi alamat SRAM data internal.

2.5.2.3. *EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)*

Merupakan memori yang dapat digunakan sebagai tempat penyimpanan data yang berukuran 512 *bytes*. EEPROM internal ATMEGA8515 dapat ditulis ulang sebanyak 100.000 kali.

Untuk melakukan akses terhadap EEPROM, terdapat tiga register penting yang berhubungan dengan EEPROM. Register tersebut adalah *EEAR (EEPROM Address Register)*, *EEDR (EEPROM Data Register)* dan *EECR (EEPROM Control Register)*.

Berikut ini adalah format dan cara pengaturan bit-bit dalam register tersebut.

▪ **EEAR (EEPROM Address Register)**

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	-	-	-	-	-	-	-	EEAR8	EEARH
	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0	EEARL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R/W	
	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	X	
	X	X	X	X	X	X	X	X	

EEAR merupakan register yang digunakan untuk menempatkan alamat memori EEPROM yang akan diakses.

▪ **EEDR (EEPROM Data Register)**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	MSB							LSB	EEDR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

EEDR merupakan register untuk menempatkan data sementara pada pengaksesan EEPROM. Pada operasi penulisan EEPROM, register ini berisi data yang ditulis pada EEPROM di alamat yang ditunjuk oleh register EEAR, sedangkan pada operasi pembacaan EEPROM, register ini berisi data yang dibaca dari alamat EEPROM pada alamat yang ditunjuk oleh EEAR.

▪ **EECR (EEPROM Control Register)**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	EERIE	EEMWE	EWE	EERE	EECR
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	X	0	

EECR merupakan register yang mengontrol proses akses terhadap EEPROM. Bit yang digunakan dalam register ini adalah bit EERE (EEPROM

Read Enable), *EWE (EEPROM Write Enable)* dan *EEMWE (EEPROM Master Write Enable)* yang masing-masing berada pada bit 0, bit 1 dan bit 2 dalam register tersebut.

2.5.3. Sistem Interupsi (*Interrupt*)

Apabila CPU dalam mikrokontroler sedang melaksanakan suatu program, pelaksanaan program tersebut dapat dihentikan sementara dengan meminta interupsi. Apabila CPU mendapat permintaan interupsi, *program counter* akan diisi alamat vektor interupsi, CPU kemudian melaksanakan rutin pelayanan interupsi mulai alamat tersebut. Bila rutin pelayanan interupsi selesai dilaksanakan, CPU kembali ke pelaksanaan program utama yang ditinggalkan.

Mikrokontroler ATMEGA8515 memiliki 17 alamat vektor *interrupt* yang ditunjukkan dalam Tabel 2.7 dimana nomor urut dari vektor *interrupt* tadi menyatakan prioritas dari interupsi tersebut.

Tabel 2.7 Reset dan Alamat Vektor Interupsi ATMEGA8515

Vector No.	Program Address ⁽²⁾	Source	Interrupt Definition
1	\$000 ⁽¹⁾	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog Reset
2	\$001	INT0	External Interrupt Request 0
3	\$002	INT1	External Interrupt Request 1
4	\$003	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
5	\$004	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
6	\$005	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
7	\$006	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
8	\$007	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
9	\$008	SPI, STC	Serial Transfer Complete
10	\$009	USART, RXC	USART, Rx Complete
11	\$00A	USART, UDRE	USART Data Register Empty
12	\$00B	USART, TXC	USART, Tx Complete
13	\$00C	ANA_COMP	Analog Comparator
14	\$00D	INT2	External Interrupt Request 2
15	\$00E	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
16	\$00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	\$010	SPM_RDY	Store Program memory Ready

Sumber: Datasheet ATMEGA8515, 2006

2.5.4. Komunikasi Serial

Mikrokontroler ATMEGA8515 dilengkapi dengan fasilitas komunikasi serial USART (*Universal Synchronous Asynchronous serial Receiver and Transmitter*) dengan fitur sebagai berikut:

1. Komunikasi *full duplex* dengan register serial untuk penerima dan pengirim data
2. Dapat dioperasikan pada mode komunikasi sinkron dan asinkron
3. Pada operasi sinkron *clock* berasal dari *master* atau *slave*
4. Mempunyai resolusi tinggi untuk generator *baudrate*

5. Layanan pengiriman data serial terdiri dari 5,6,7,8, dan 9 bit dan 1 atau 2 bit *stop*
6. Paritas genap atau ganjil dan didukung dengan pengecekan paritas oleh *hardware*
7. Pendeteksi pengiriman kelebihan data
8. Pendeteksi kesalahan pada format data yang dikirim
9. Memiliki filter *noise* yang terdiri dari pendeteksi kesalahan bit start dan *digital low pass filter*
10. Memiliki 3 layanan *interrupt* yaitu TX complete, TX data register empty, dan RX complete
11. Mode komunikasi multi-prosesor
12. Mode komunikasi asinkron dengan dua kecepatan

Untuk menghitung *baudrate* dari komunikasi serial digunakan persamaan seperti yang terlihat dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Rumus Menghitung *Baudrate*

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾	Equation for Calculating UBRR Value
Asynchronous Normal mode (U2X = 0)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed mode (U2X = 1)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master mode	$BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$

Sumber: Datasheet ATMEGA8515, 2006

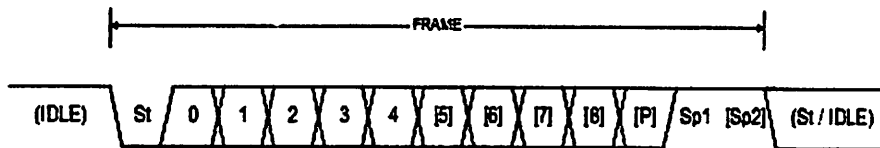
dengan:

BAUD = Baudrate (bit per second, bps)

f_{osc} = Frekuensi clock dari sistem osilator

UBRR = Terdiri dari register UBRRH dan UBRL

Komunikasi serial ATMEGA8515 memiliki suatu format pengiriman data. Format pengiriman ini dimulai dengan bit *start*, lalu berikutnya diikuti bit data, sampai dengan total 9 bit, diakhiri oleh bit *stop*. Jika dibutuhkan, bit paritas dapat diletakkan di antara akhir bit data dan bit *stop*. Ketika format pengiriman data lengkap dikirimkan, maka dapat langsung diikuti oleh format pengiriman data yang baru, atau jalur komunikasi dapat diatur menjadi status kosong (tinggi). Gambar 2.6 berikut ini memperlihatkan format pengiriman data serial.



Gambar 2.6 Format Pengiriman Data
Sumber: Datasheet ATMEGA8515, 2006

dimana:

- St = Bit *start*, selalu berlogika rendah
- (n) = Banyaknya data yang dikirimkan (0-8)
- P = Bit paritas (ganjil atau genap)
- Sp = Bit *stop*, selalu berlogika tinggi (berjumlah 1 atau 2)
- IDLE = Tidak ada data yang ditransfer pada jalur RxD atau TxD.
IDLE selalu berlogika tinggi

2.6. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) banyak digunakan pada alat-alat elektronika yang memerlukan penampil, sehingga pemakai dapat mengerti dengan

informasi yang ditampilkan oleh alat Keunggulan dari LCD adalah bentuknya yang kecil dan dapat menampilkan karakter ASCII pada tampilannya juga membutuhkan daya yang kecil, sehingga sangat praktis apabila digunakan pada peralatan yang hemat daya.

2.6.1. Deskripsi M1632

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis piranti *output* yang menggunakan daya rendah dengan pengontrol kontras dan kecerahan. Pengontrol utamanya dan karakter ada pada ROM generator (CGROM) dan *display* data RAM (DDRAM) yang akan menghasilkan *extended key codes* (kode tombol / *keyboard* standar internasional dalam *Hexa*) jika diberikan masukan. Untuk mendapatkan fungsi dengan baik maka perlu diperhatikan proses inisialisasi yang telah ditentukan oleh pabrik pembuatnya.

Ada dua jenis register yang terdapat dalam LCD M1632 ini, yaitu data register dan instruksi register. Dengan menggunakan pin RS (*Register Select*) pada LCD, pemakaian kedua register dapat dipilih. Pemilihan register dapat dipilih pada LCD, ditunjukkan dalam tabel berikut ini :

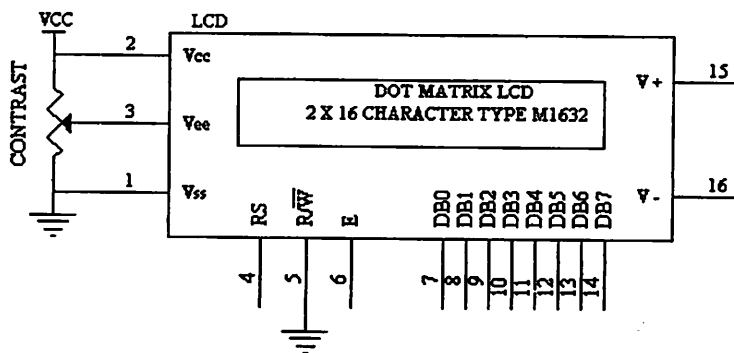
Tabel 2.9 Pemilihan Register pada LCD M1632

Nama Sinyal	No. Terminal	I/O	Tujuan	Keterangan Sinyal
RS	4	<i>Input</i>	MPU	0 : <i>Instruction Register</i> 1 : <i>Data Register</i>

Jika bagian yang dipilih adalah instruksi register maka *output* yang dihasilkan adalah meliputi operasional dari LCD, misalnya fungsi *display clear*, *cursor home*, *entry mode set*, *display on/off*, *cursor shift*, dan sejenisnya.

Sebaliknya, jika bagian yang dipilih adalah data register, *output* yang dihasilkan adalah meliputi karakter yang tabelnya terdapat pada lampiran *datasheet* LCD.

Berikut adalah gambar dari modul LCD M1632:



Gambar 2.11 Modul LCD 2 x 16 Karakter

LCD M1632 mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- 16 karakter 2 baris dalam bentuk dot matrik 5×7 dan kursor.
- *Duty ratio* 1/16.
- Memiliki ROM pembangkit karakter untuk 192 jenis karakter.
- RAM untuk data *display* sebanyak 80×8 bit (80 karakter maksimum).
- Dapat dirangkai dengan MPU (*Microprocessor Unit*) 8 bit atau 4 bit.
- RAM data *display* dan RAM pembangkit karakter dibaca oleh MPU.
- Memiliki fungsi intruksi : *display ON/OFF*, *cursor ON/OFF*, *display character blink*, *cursor shift* dan *display shift*.
- Memiliki rangkaian *oscillator* sendiri.
- Sumber tegangan tunggal +5 volt.
- Memiliki rangkaian reset otomatis pada catu daya dihidupkan.
- Suhu operasi 0° - 50° C.

Modul LCD M1632 mempunyai 16 pin dengan fungsi sebagai berikut :

Tabel 2.11 Fungsi Pin pada LCD

No. Pin	Nama Pin	Fungsi
1	Vss	<i>Terminal Ground</i>
2	Vcc	Tegangan Catu + 5 volt
3	Vee	Mengendalikan kecerahan LCD
4	RS	Sinyal pemilihan register 0 = <i>Instruction Register</i> 1 = <i>Data Register</i>
5	R/\bar{W}	Sinyal seleksi tulis atau baca 0 = Tulis 1 = Baca
6	E	Sinyal operasi awal yang mengaktifkan data tulis atau baca
7 – 14	DB0 – DB7	Merupakan saluran data berisi perintah data yang akan ditampilkan
15	V + BL	<i>Back Light Supply</i>
16	V – BL	<i>Back Ligth Supply (Ground)</i>

2.6.2 Sinyal Interface M1632

Untuk berhubungan dengan mikrokontroler pemakai M1632 dilengkapi dengan 8 jalur pada data (DB0....DB7) yang dipakai untuk menyalurkan kode ASCII maupun perintah pengatur kerja M1632. Selain itu dilengkapi pula dengan

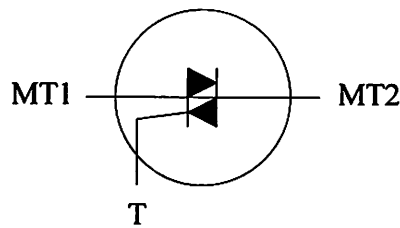
E, $\overline{R/W}$, RS seperti layaknya komponen yang *compatibel* dengan mikrokontroler. Kombinasi sinyal E dan $\overline{R/W}$ merupakan sinyal standar pada komponen buatan *Motorolla*. Sebaliknya sinyal-sinyal dari mikrokontroler merupakan sinyal khas *Intel* dengan kombinasi sinyal WR dan RD. RS singkatan dari *register Select*, dipakai untuk membedakan jenis data yang dikirim ke M1632. Jika RS = 0 maka data yang dikirim adalah perintah untuk mengatur kerja M1632. Sebaliknya jika RS = 1 maka data yang dikirim oleh kode ASCII yang ditampilkan. Demikian pula saat pengambilan data, saat RS = 0, data yang diambil dari M1632 merupakan data status yang mewakili aktivitas M1632. Saat RS = 1, maka data yang diambil merupakan kode ASCII dari data yang ditampilkan.

Proses mengirim atau mengambil data dari atau ke M1632 adalah sebagai berikut:

1. RS harus dipersiapkan dulu, untuk menentukan jenis data seperti yang telah dibicarakan di atas.
2. $\overline{R/W}$ di-nol-kan untuk menandakan akan diadakan pengiriman data ke M1632. Data yang akan dikirim disiapkan di **DB0..DB7**, sesaat kemudian sinyal E di-satu-kan dan di-nol-kan kembali. Sinyal E merupakan sinyal sinkronisasi, saat E berubah dari 1 menjadi 0 data di **DB0 .. DB7** diterima oleh M1632.
3. Untuk mengambil data dari M1632 sinyal $\overline{R/W}$ di-satu-kan, menyusul sinyal E di-satu-kan. Pada saat E menjadi 1, M1632 akan meletakkan datanya di **DB0 .. DB7**, data ini harus diambil sebelum sinyal E di-nol-kan kembali.

2.7. TRIAC

TRIAC tersusun dari lima buah lapis semikonduktor yang banyak digunakan pada pensaklaran elektronik. TRIAC biasa juga disebut *thyristor bi-directional*. TRIAC merupakan dua buah SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) yang dihubungkan secara paralel bolak-balik dengan terminal *gate* bersama.



Gambar 2.12 Simbol TRIAC

TRIAC dapat dipicu dengan tegangan polaritas positif dan negatif dan dapat melewatkan arus dua arah. TRIAC banyak digunakan pada rangkaian pengendali dan pensaklaran.

2.8. Buzzer

Buzzer adalah suatu alat yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi sinyal suara. Pada umumnya *buzzer* digunakan untuk alarm dan penggunaannya cukup mudah yaitu dengan memberikan tegangan *input* maka *buzzer* akan mengeluarkan suara/bunyi. Frekuensi suara yang dihasilkan oleh *buzzer* yaitu antara 1-5 KHz.

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Pendahuluan

Dalam bab ini akan dibahas perancangan dan pembuatan alat. Pembahasan akan dilakukan pada setiap blok rangkaian, cara kerja masing-masing blok rangkaian, perhitungan dan juga fungsi masing-masing blok rangkaian tersebut. Secara garis besar terdapat dua bagian perangkat yang ada yaitu :

- Perancangan perangkat keras (*Hardware*).
- Perancangan perangkat lunak (*Software*).

Pada perancangan perangkat keras akan meliputi komponen dan *peripheral* yang digunakan pada sistem ini. Sedangkan pada perancangan perangkat lunak akan meliputi diagram alir dan *software* secara umum. Akan tetapi kedua perangkat ini dalam kerjanya saling menunjang satu sama lain.

3.2. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

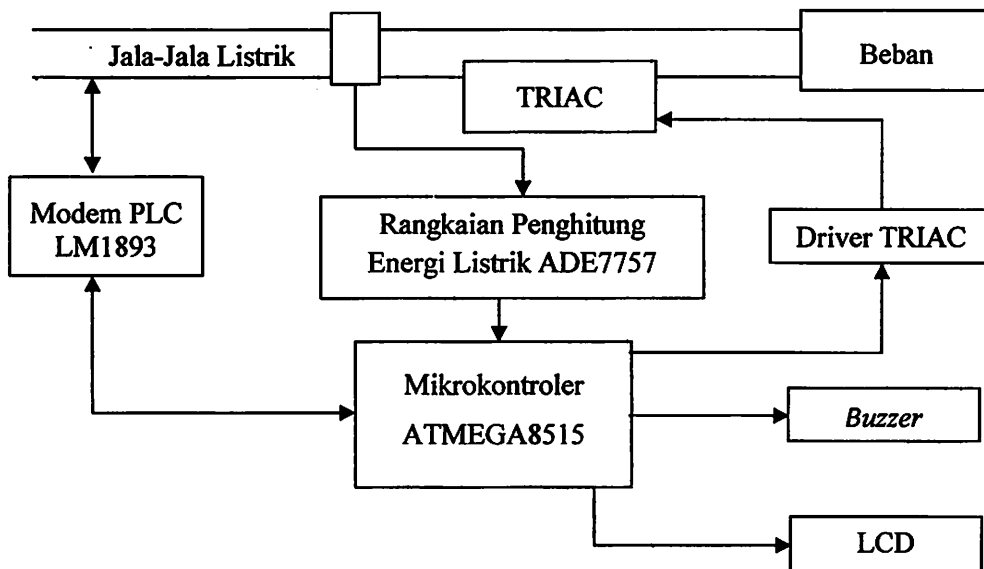
3.2.1. Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang dirancang adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan mikrokontroler ATMEGA8515 sebagai pengontrol utama.
2. Menggunakan sistem PLC (*Power Line Carrier*), yang menggunakan IC LM1893, sebagai media komunikasi data antara kWh meter digital dengan unit *server*.
3. Menggunakan IC ADE7757 sebagai IC pengukur pemakaian energi listrik.
4. Menggunakan LCD sebagai tampilan dan *buzzer* sebagai penghasil suara.

3.2.2. Blok Diagram

Agar perancangan dan pembuatan alat kWh meter Prabayar dapat dilakukan secara sistematis dan terstruktur, maka perlu dibuat blok diagram yang menjelaskan dari sistem yang dirancang. Secara garis besar sistem perancangan ditunjukkan pada blok diagram dari Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok Keseluruhan Alat

Adapun fungsi dari masing-masing blok adalah sebagai berikut:

1. Modem PLC LM1893

Berfungsi sebagai media komunikasi data melalui jala-jala listrik.

2. Rangkaian penghitung energi listrik ADE7757

Berfungsi sebagai pengolah pemakaian energi listrik sehingga menghasilkan besarnya pemakaian energi listrik.

3. Mikrokontroler ATMEGA8515

Berfungsi sebagai alat penghitung pemakaian energi listrik, mengatur tampilan pada LCD, mengendalikan *buzzer* dan mengatur komunikasi dengan unit *server*.

4. LCD

Berfungsi sebagai alat penampil yang digunakan untuk menampilkan besarnya pemakaian energi listrik dan sisa pulsa.

5. *Buzzer*

Berfungsi sebagai alat untuk memberikan peringatan berupa alarm kepada pelanggan apabila jumlah nominal kWh telah mencapai batas minimum yang telah ditetapkan.

6. *Driver* TRIAC

Berfungsi sebagai pemacu kerja Triac.

7. TRIAC

Berfungsi sebagai alat pemutus-hubung (saklar) arus listrik.

3.2.3. Prinsip Kerja Alat

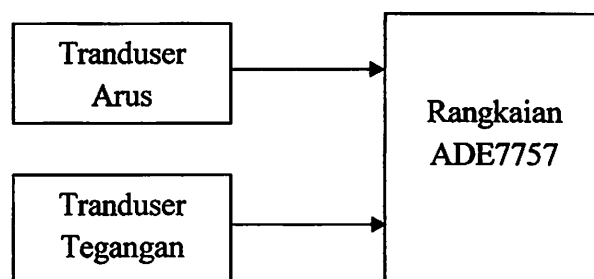
Perhitungan pemakaian energi listrik dilakukan oleh IC ADE7757 dengan keluaran berupa sinyal frekuensi rendah yang dapat dihubungkan langsung ke mikrokontroler. Perhitungan ini dilakukan dengan menyampling dua sinyal masukan pada pin V_1 (saluran arus) dan V_2 (saluran tegangan) yang kemudian diolah oleh rangkaian ADC internal menjadi sinyal digital, kemudian dilakukan perkalian langsung untuk mendapatkan besarnya pemakaian energi listrik. Hasilnya kemudian diubah dalam bentuk frekuensi dan dikeluarkan pada pin CF.

Pulsa keluaran ADE7757 akan dihitung oleh mikrokontroler dan akan disimpan pada EEPROM mikrokontroler sesuai pulsa terhitung dan ditampilkan pada LCD.

Agar data dapat dikirim melalui jala-jala listrik, data digital yang telah dihasilkan ditumpangkan ke Modulator *Power Line Carrier* (PLC). Modem PLC terdiri dari pembangkit frekuensi pembawa untuk menumpangkan sinyal dari mikrokontroler yang terdiri atas rangkaian yang berbasis IC LM1893. Modem PLC ini juga merupakan pengkopel sebagai penghubung dengan jala-jala listrik. Sinyal yang dipancarkan diterima oleh Demodulator *Power Line Carrier* (PLC). Demodulator terdiri dari pengkopel untuk melewatkan frekuensi sinyal dan menahan frekuensi jala-jala, serta *Phase Locked Loop* (PLL) untuk memisahkan frekuensi sinyal dengan frekuensi pembawa.

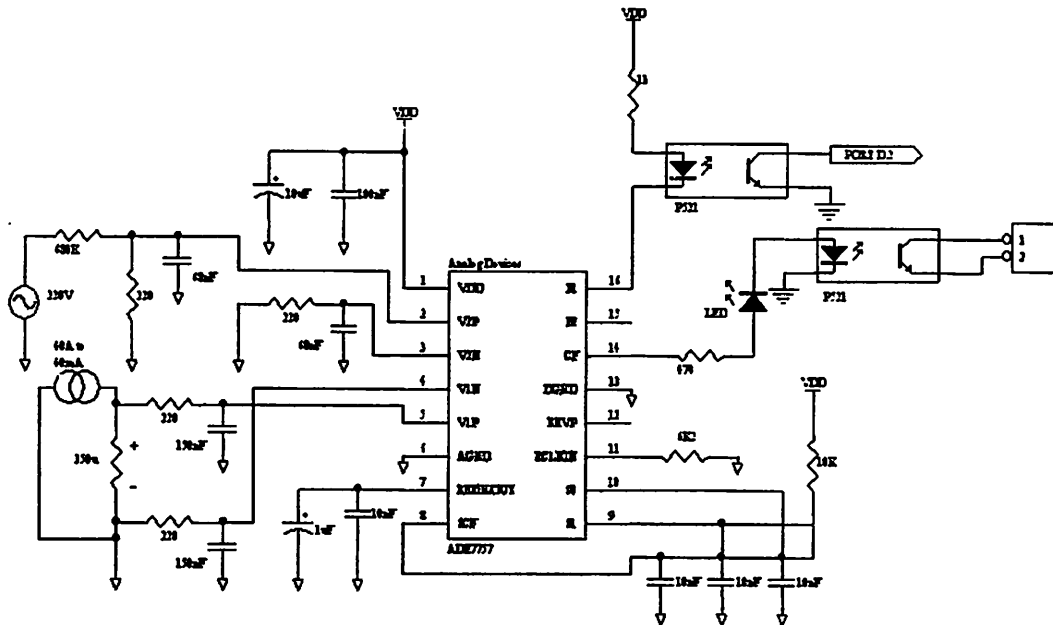
3.2.4. Perancangan Rangkaian Penghitung Energi Listrik Menggunakan IC ADE7757

Dalam Gambar 3.2 dapat dilihat komponen-komponen pendukung dari penghitung pemakaian energi listrik menggunakan IC ADE7757 yang akan dirancang.



Gambar 3.2 Diagram Blok Rangkaian ADE7757

Gambar 3.3 menunjukkan rangkaian penghitung energi listrik IC ADE7757 secara lengkap.



Gambar 3.3 Rangkaian IC ADE7757

3.2.4.1. Transduser Arus

Transduser arus digunakan untuk mengubah nilai arus yang mengalir pada jaringan listrik menjadi nilai tegangan yang digunakan sebagai masukan bagi ADE7757. Tegangan keluaran dari transduser arus dihubungkan ke IC ADE7757 melalui pin 4 (*Channel VIP*) dan 5 (*Channel VIN*). VIP merupakan masukan positif terhadap VIN.

Pada perancangan, sensor arus yang digunakan adalah berupa kawat tembaga. Pada *datasheet* IC ADE7757, kawat tembaga yang dipakai harus memiliki nilai tahanan sebesar 350 $\mu\Omega$.

Untuk menentukan berapa panjang kawat yang dibutuhkan dengan menentukan diameter kawat sebesar 1,7 mm dan ρ_{tembaga} sebesar $16,8 \mu\Omega\text{mm}$, maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (4-1)$$

$$350 \times 10^{-6} = 16,8 \times 10^{-6} \times \frac{\ell}{3,14 \times (0,85)^2}$$

$$\ell = 47,3 \text{ mm}$$

dimana:

R : Tahanan (Ω)

ρ : Tahanan jenis (Ωm)

ℓ : Panjang kawat (m)

A : Luas penampang kawat (m^2)

3.2.4.2. Tranduser Tegangan

Rangkaian tranduser tegangan adalah berupa rangkaian penurun tegangan yang terdiri atas susunan resistor yang dihubung secara seri seperti Gambar 3-4, agar terdapat pembagian tegangan pada masing-masing resistor. Rangkaian ini digunakan untuk menurunkan tegangan jala-jala 220 V menjadi 165 mV.

Dari Gambar 3.4 dengan menganggap $R_B = 0$, maka didapat persamaan berikut:

$$V_{\text{channel2}} = \frac{R_F}{R_A + R_F} \times 220 \text{ V} \quad (4-2)$$

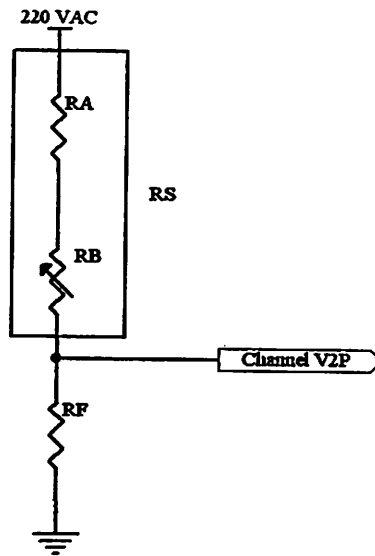
Nilai V_{channel2} yang diinginkan adalah sebesar 165 mV, sehingga persamaan diatas diubah menjadi persamaan 4-3.

$$RA = \frac{(R2 \times 220 \text{ V}) - (R2 \times V_{channel2})}{V_{channel2}} \quad (4-3)$$

Dengan memberikan nilai R_F sebesar 200Ω , maka nilai R_A dapat ditentukan menggunakan persamaan 4-3.

$$RA = \frac{(200 \times 220 \text{ V}) - (200 \times 165 \text{ mV})}{165 \text{ mV}}$$

$$RA = 266,47 \text{ K}\Omega$$

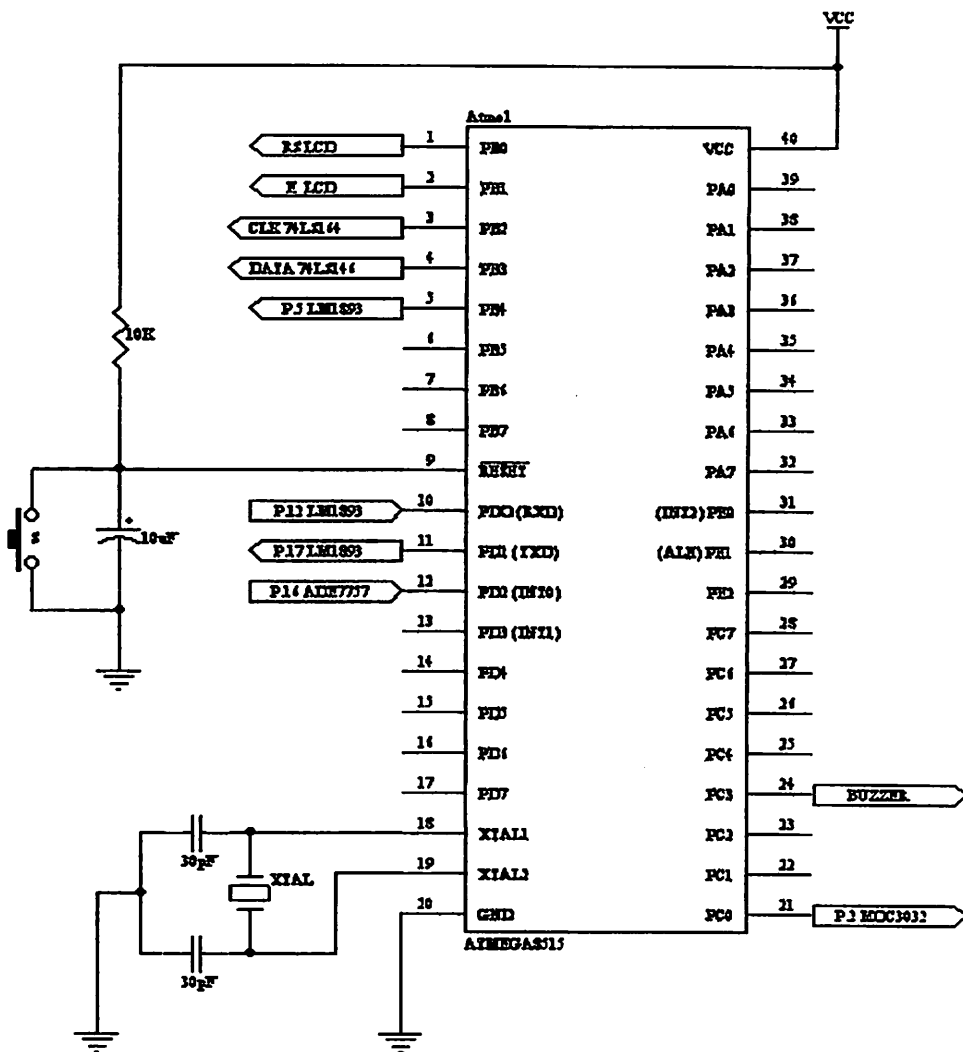


Gambar 3.4 Rangkaian Penurun Tegangan

R_B yang terpasang adalah sebesar $620 \text{ K}\Omega$. Konfigurasi R_B seperti Gambar 3-4 memungkinkan untuk menjadikan tegangan *channel 2* lebih kecil. Tetapi walaupun nilai $R_B = 0$, tegangan yang masuk ke *channel 2* ADE7757 tidak akan melebihi 165 mV .

3.2.5. Perancangan Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA8515

Mikrokontroler yang digunakan pada rangkaian ini adalah mikrokontroler ATMEGA8515 yang merupakan produk dari Atmel. Komponen ini merupakan sebuah *chip* tunggal sebagai pusat pengolah data dan pengontrolan alat. Sebagai otak dari pengolahan data dan pengontrolan alat, maka pin-pin ATMEGA8515 dihubungkan pada rangkaian pendukung yang membentuk suatu sistem seperti dalam Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA8515

Dalam perancangan ini, pin-pin mikrokontroler ATMEGA8515 yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Port B

PB.0 digunakan sebagai pengirim perintah RS ke LCD.

PB.1 digunakan sebagai pengirim perintah E ke LCD.

PB.3 digunakan sebagai pengirim sinyal CLK ke DM74LS164.

PB.4 digunakan sebagai pengirim DATA ke DM74LS164.

2. Port C

PC.0 digunakan sebagai keluaran untuk MOC3023.

PC.3 digunakan sebagai keluaran untuk rangkaian *buzzer*.

3. Port D

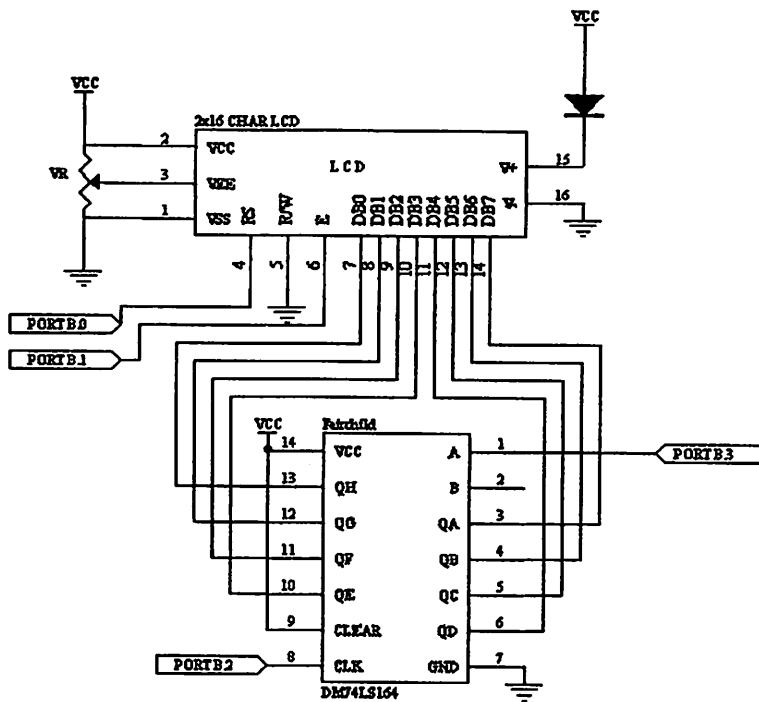
PD.0 digunakan sebagai jalur masuk data serial dari modem PLC.

PD.1 digunakan sebagai jalur keluar data serial ke modem PLC.

PD.2 digunakan sebagai penerima masukan sinyal dari ADE7757.

3.2.6. Perancangan Rangkaian LCD (*Liquid Crystal Display*)

Dalam perancangan rangkaian ini digunakan sebuah layar LCD (*Liquid Crystal Display*) yaitu jenis *Seiko Instrument* M1632, yang merupakan LCD dua baris dengan setiap barisnya terdiri 16 karakter, dan menggunakan IC DM74LS164 yang merupakan register geser 8 bit yang memiliki gerbang masukan serial. Gambar hubungan rangkaian antara LCD, IC DM74LS164 dan mikrokontroler dapat dilihat dalam Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Rangkaian LCD (*Liquid Crystal Display*)

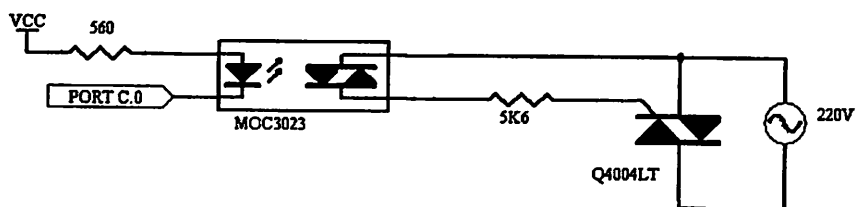
LCD ini membutuhkan sepuluh buah pin masukan/keluaran dari mikrokontroler dan IC DM74LS164. Adapun dua buah *port* pada mikrokontroler, yakni *port* B.0 dihubungkan pada pin RS yang digunakan sebagai sinyal pemilih register dan *port* B.1 pada pin E (*Enable*) digunakan sebagai sinyal operasi awal, sinyal *enable* ini mengaktifkan data tulis atau baca oleh mikrokontroler. Pin DB0-DB7 pada LCD dihubungkan pada pin data IC DM74LS164 digunakan untuk menampilkan karakter yang dikehendaki oleh mikrokontroler.

Ketika terdapat data pada jalur data, data tersebut akan ditahan dengan memberikan *clock* pin E pada LCD. Pin RS menentukan apakah data yang ditahan akan digunakan sebagai instruksi untuk mengatur *setting* tampilan pada LCD atau sebagai kode karakter yang diperlukan LCD untuk menampilkan suatu karakter.

Sedangkan untuk pin R/W pada LCD dihubungkan ke *ground* karena dalam hal ini LCD hanya melakukan operasi *write* atau operasi menampilkan karakter.

3.2.7. Perancangan Rangkaian Saklar Otomatis

Pada perancangan rangkaian ini digunakan sebuah *triac* tipe Q4004LT sebagai saklar (*switch*) pemutus dan penghubung arus listrik pada sistem.



Gambar 3.7 Rangkaian *Switch*

Tegangan keluaran dari mikrokontroler adalah sekitar 4 volt sedangkan untuk rangkaian *triac* memerlukan *supply* tegangan sebesar 220 VAC, maka diperlukan *optoisolator triac driver* MOC3023 untuk mengaktifkan *triac*. Maka analisa data yang digunakan:

$$V_{in} = 4 \text{ Volt}$$

Datasheet untuk mengaktifkan MOC 3023:

$$V_F \text{ (tegangan forward dioda)} = 1,5 \text{ Volt}$$

$$I_{FT} \text{ (arus forward trigger)} = 5 \text{ mA}$$

Maka untuk mengaktifkan MOC3023, resistor yang dipasang:

$$R = (V_{in} - V_F) / I_{FT} \tag{4-7}$$

$$R = (4 \text{ V} - 1,5 \text{ V}) / 5 \text{ mA}$$

$$R = 2,5 \text{ V} / 5 \text{ mA}$$

$$R = 500 \Omega \cong 560 \Omega$$

Karena tegangan jaringan yang digunakan adalah 220V dan arus *gate holding* maksimum (I_H) adalah 40 mA, maka total nilai R adalah :

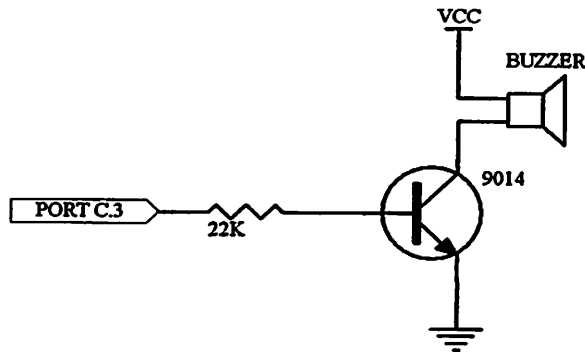
$$R = V_{jaringan} / I_H \tag{4-8}$$

$$R = 220 \text{ V} / 40 \text{ mA}$$

$$R = 5,5 \text{ K}\Omega \cong 5,6 \text{ K}\Omega$$

3.2.8. Perancangan Rangkaian *Buzzer*

Rangkaian ini berfungsi sebagai penanda (alarm) apabila ada masukan pulsa dan sistem mencapai batas pulsa minimum. Rangkaian ini menggunakan sebuah *buzzer*, resistor dan transistor NPN 9014.



Gambar 3.8 Rangkaian *Buzzer*

Perhitungan dari rangkaian *buzzer* pada Gambar 3-8 harus dicari nilai resistansi R_B . Data yang diperlukan untuk mencari besar resistansi R_B adalah sebagai berikut:

Data transistor KTC9014 yang diperoleh dari *datasheet* (KEC, 1994) adalah :

- V_{ce} saturasi = 0,25 volt.
- hfe minimum = 60.
- hfe maksimum = 1000.
- V_{be} = 0,7 volt.

Jika diketahui besarnya R_C (R_{buzzer}) adalah 250Ω , tegangan catu sebesar 5 V, dan V_{ce} saturasi sebesar 0,25 V maka dengan menggunakan persamaan besar arus I_C adalah :

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{ce}}{R_C} \quad (4-9)$$

$$I_C = \frac{5 V - 0,25 V}{250 \Omega}$$

$$= 19 \text{ mA}$$

Dalam perancangan ini digunakan hfe sebesar 120, maka dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_B = \frac{I_C}{hfe} \quad (4-10)$$

$$I_B = \frac{19 \text{ mA}}{120}$$

$$= 0,158 \text{ mA}$$

Jika V_{bb} adalah tegangan keluaran dari mikrokontroler saat logika tinggi yaitu sebesar 4 V dan $V_{be} = 0,7 V$ maka dengan menggunakan persamaan berikut besarnya resistansi R_B adalah :

$$R_B = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_B} \quad (4-11)$$

$$R_B = \frac{4\text{ V} - 0,7\text{ V}}{0,158\text{ mA}}$$

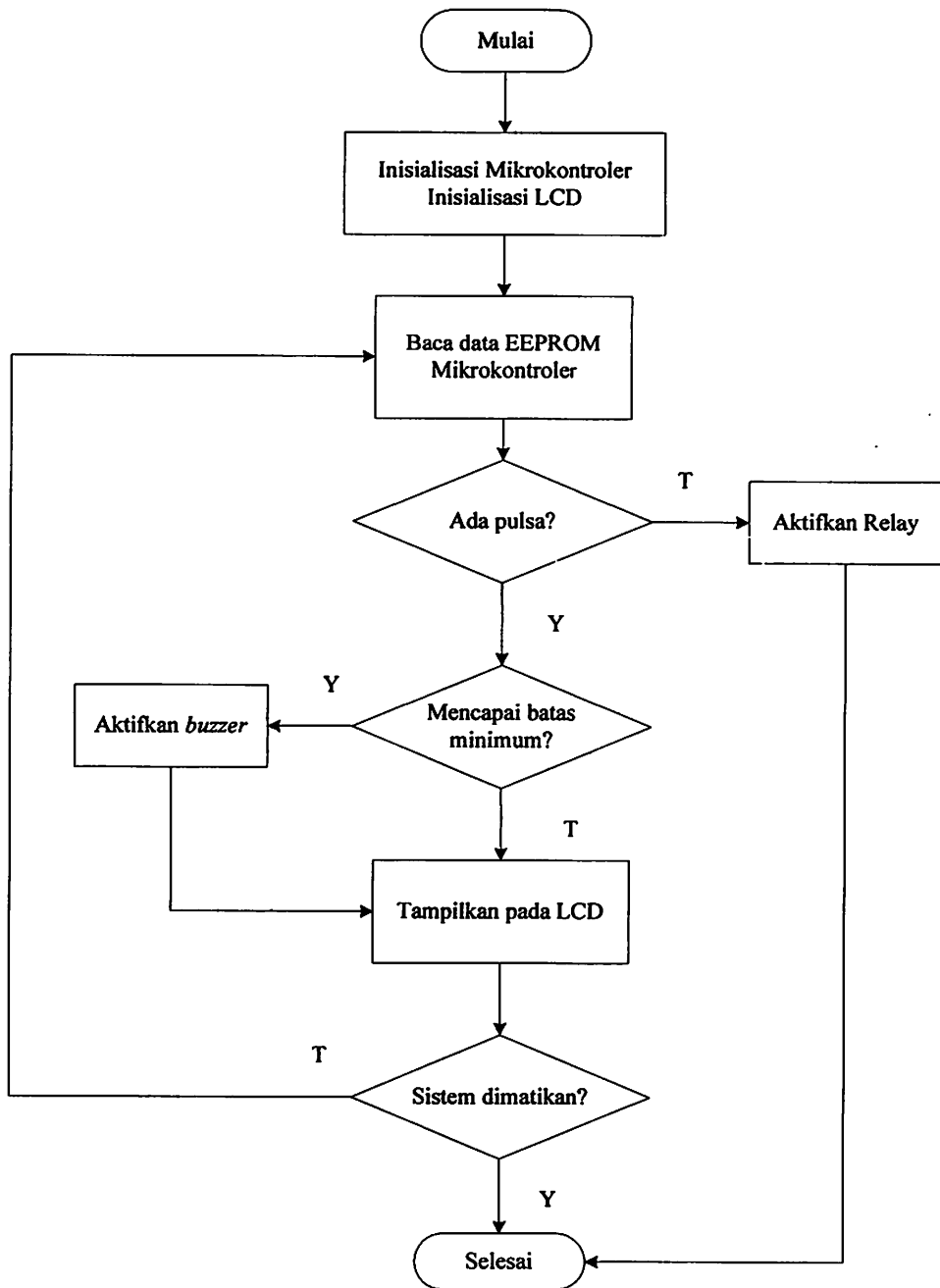
$$= 20,89\text{ K}\Omega$$

Pada perancangan, rangkaian ini menggunakan resistor sebesar 22 K Ω , sehingga arus I_B menjadi 0,15 mA. Hal ini mengakibatkan transistor dapat bekerja karena telah diperoleh arus I_B yang dibutuhkan.

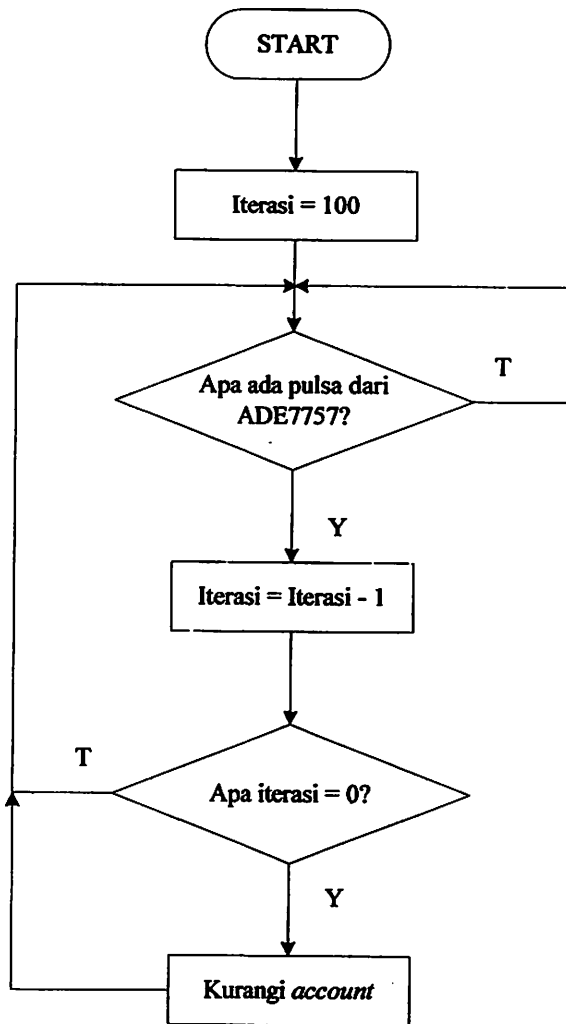
3.3. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pengendalian sistem dan pengolahan data pada alat ini dilakukan sepenuhnya oleh mikrokontroler ATMEGA8515. Dalam menggunakan mikrokontroler pada suatu sistem, perlu direncanakan suatu perangkat lunak bagi mikrokontroler yang dapat mengatur sistem tersebut.

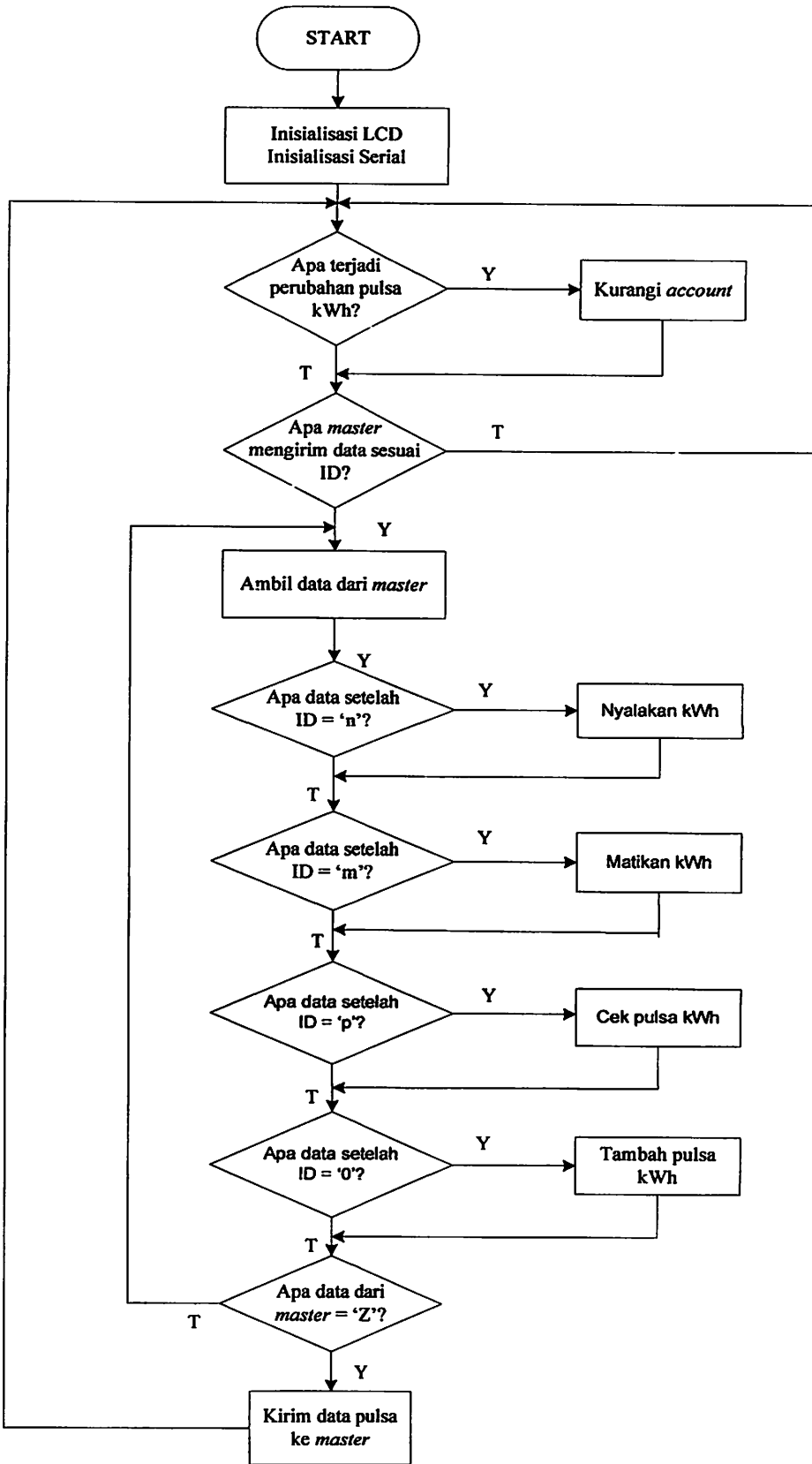
Perangkat lunak ini tersusun atas instruksi-instruksi (perintah) yang membentuk suatu *listing* program yang nantinya akan ditanam ke dalam mikrokontroler. Program dibuat secara terstruktur agar memudahkan dalam pembuatan, pengujian dan pencarian kesalahan pada program.



Gambar 3.9 Diagram Alir Utama



Gambar 3.10 Diagram Alir Pengurangan Pulsa kWh Meter



Gambar 3.11 Diagram Alir Komunikasi dengan Server

BAB IV

PENGUJIAN ALAT

Untuk mengetahui keberhasilan dalam merancang dan membuat alat, maka diperlukan suatu pengujian alat yang telah dibuat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan perencanaan.

4.1. Pengujian Mikrokontroler ATMEGA8515 dan LCD

4.1.1. Tujuan

Pengujian bertujuan untuk melihat apakah mikrokontroler dapat bekerja dan menampilkan karakter pada LCD.

4.1.2. Peralatan yang Digunakan

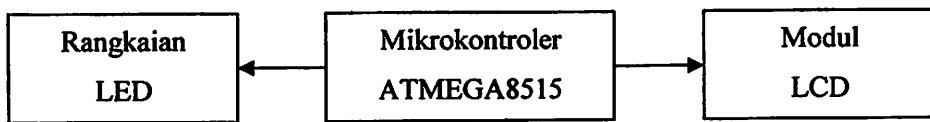
Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

1. Rangkaian mikrokontroler ATMEGA8515
2. Modul LCD 16X2
3. Rangkaian LED
4. Catu daya 5 volt

4.1.3. Langkah-Langkah Pengujian

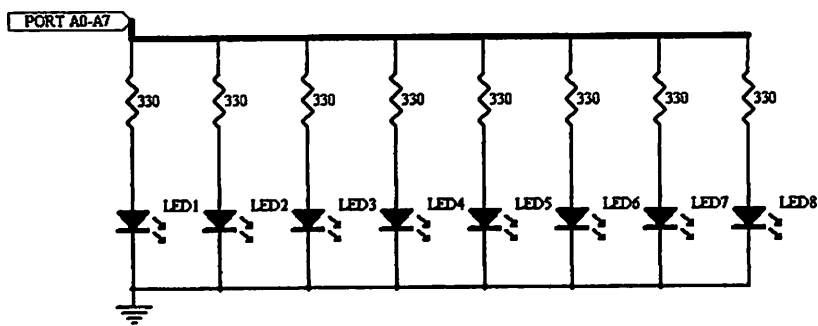
Langkah-langkah pengujian mikrokontroler ATMEGA8515 dan LCD adalah sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian pengujian seperti diagram blok Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler dan LCD

2. Menggunakan rangkaian LED seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

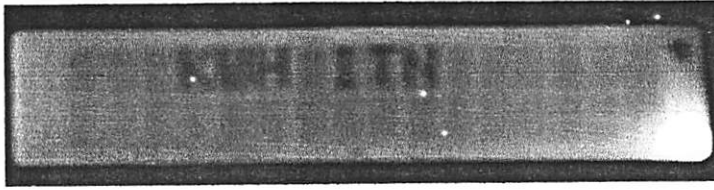


Gambar 4.2 Rangkaian LED

3. Membuat perangkat lunak mikrokontroler untuk menampilkan karakter “KWH ITN” pada baris pertama pada LCD. Serta menjadikan port A mikrokontroler sebagai keluaran yang mengeluarkan data heksadesimal melalui rangkaian LED.

4.1.4. Data Hasil Pengujian

Saat pengujian, mikrokontroler dapat membuat karakter seperti yang diinginkan pada Gambar 4.2. Selain itu, port A pada mikrokontroler juga dapat mengeluarkan data seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1.



Gambar 4.3 Tampilan Karakter pada LCD

Tabel 4.1 Data Keluaran pada Port A

No.	Data	LED							
		7	6	5	4	3	2	1	0
1.	00H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
2.	03H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
3.	10H	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
4.	8FH	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
5.	FFH	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON

4.1.5. Analisa Data Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa keberhasilan pengujian mikrokontroler dan LCD adalah 100 %. Faktor yang perlu diperhatikan dalam penggunaan port ATMEGA8515 adalah inisialisasi port untuk digunakan sebagai keluaran atau masukan dengan mengisi *Data Direction Register* (DDR) port. Sedangkan dalam penggunaan LCD perlu diperhatikan juga bagaimana inisialisasinya sesuai yang ditunjukkan oleh *datasheet*.

4.2. Pengujian Rangkaian Pengukur Energi Listrik ADE7757 dalam Menghitung Energi Listrik

4.2.1. Tujuan

Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian penghitung energi listrik ADE7757 sudah bekerja sesuai dengan spesifikasi awal yang ditetapkan. Selain itu, pengujian dilakukan untuk melihat mengetahui ketepatan pengukuran energi listrik yang dilakukan oleh rangkaian ADE7757.

4.2.2. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

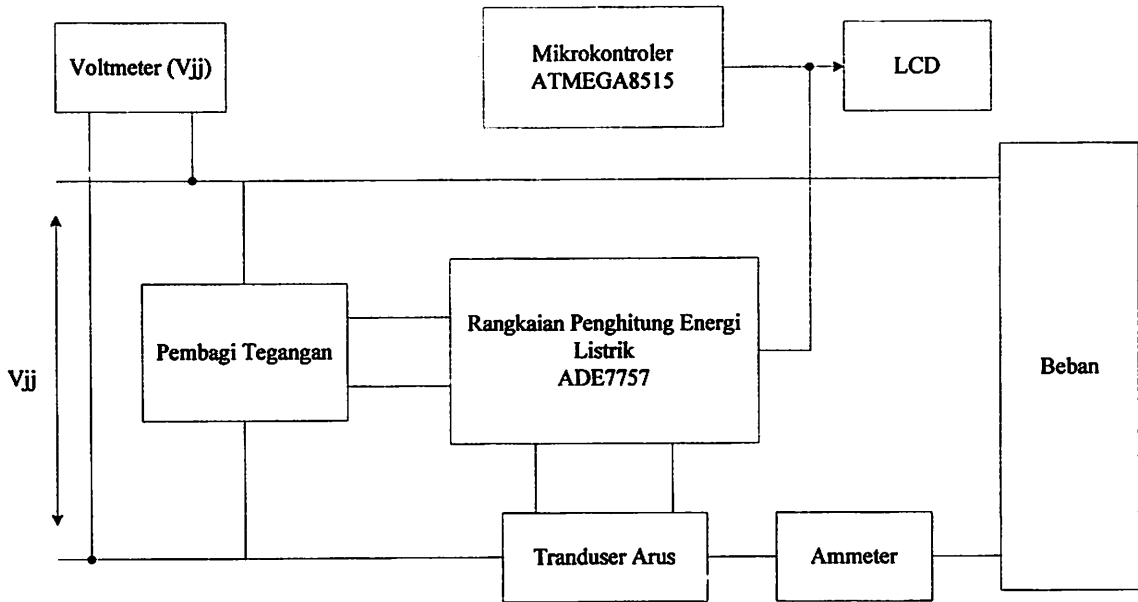
1. Ammeter
2. Voltmeter
3. Rangkaian pengukur energi listrik ADE7757
4. Minimum sistem ATMEGA8515
5. LCD
6. Beban bola lampu 40, 60, 100, 160 dan 250 Watt
7. Catu daya 5 Volt

4.2.3. Langkah-Langkah Pengujian

Langkah-langkah pengujian rangkaian penghitung energi listrik ADE7757 adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian penghitung energi listrik ADE7757 dirangkai dengan minimum sistem mikrokontroler ATMEGA8515, LCD, voltmeter, ammeter dan seperti pada Gambar 4.3.

2. Mengubah-ubah beban listrik yang digunakan kemudian mengukur arus beban dengan ammeter dan tegangan jala-jala dengan voltmeter.
3. Mencatat hasil perhitungan energi listrik terpakai sesuai dengan yang ditampilkan pada LCD, voltmeter dan ammeter pada Tabel 4.2.



Gambar 4.4 Diagram Blok Pengujian Perhitungan Energi Listrik

4.2.4. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian perhitungan energi listrik yang dilakukan oleh rangkaian penghitung energi listrik ADE7757 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Rangkaian Pengukur Energi Listrik ADE7757

No.	Beban	Vjj (V)	I (A)	Energi Terukur (kWh)
1.	40 W	222	0,20	0,04

2.	60 W	221	0,26	0,06
3.	100 W	221	0,45	0,10
4.	160 W	223	0,72	0,16
5.	250 W	222	1,14	0,12 ⁽¹⁾

Catatan:

(1) Pengujian dilakukan selama 30 menit.

4.2.5. Analisa Data Hasil Pengujian

Cara menghitung besarnya nilai kWh adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Energi} = \frac{P \times t}{1000} \text{ (kWh)}$$

dimana:

P = Daya (*Watt*)

t = Waktu (*jam*)

Dengan persamaan diatas, maka besarnya pemakaian energi pada tiap-tiap beban adalah:

1. Beban = 40 Watt, selama 1 jam

$$\begin{aligned} \text{Energi} &= \frac{P \times t}{1000} \\ &= \frac{40 \times 1}{1000} \\ &= 0,04 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Energi Pengukuran} - \text{Energi Perhitungan}|}{\text{Energi Perhitungan}} \times 100 \%$$

$$= \frac{|0,04 - 0,04|}{0,04} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

2. Beban = 60 Watt, selama 1 jam

$$\text{Energi} = \frac{P \times t}{1000}$$

$$= \frac{60 \times 1}{1000}$$

$$= 0,06 \text{ kWh}$$

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Energi Pengukuran} - \text{Energi Perhitungan}|}{\text{Energi Perhitungan}} \times 100\%$$

$$= \frac{|0,06 - 0,06|}{0,06} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

3. Beban = 100 Watt, selama 1 jam

$$\text{Energi} = \frac{P \times t}{1000}$$

$$= \frac{100 \times 1}{1000}$$

$$= 0,1 \text{ kWh}$$

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Energi Pengukuran} - \text{Energi Perhitungan}|}{\text{Energi Perhitungan}} \times 100\%$$

$$= \frac{|0,1 - 0,1|}{0,1} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

4. Beban = 160 Watt, selama 1 jam

$$\begin{aligned}\text{Energi} &= \frac{P \times t}{1000} \\ &= \frac{160 \times 1}{1000} \\ &= 0,16 \text{ kWh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Error} &= \frac{|\text{Energi Pengukuran} - \text{Energi Perhitungan}|}{\text{Energi Perhitungan}} \times 100 \% \\ &= \frac{|0,16 - 0,16|}{0,16} \times 100 \% \\ &= 0 \%\end{aligned}$$

5. Beban = 250 Watt, selama 0,5 jam

$$\begin{aligned}\text{Energi} &= \frac{P \times t}{1000} \\ &= \frac{250 \times 0,5}{1000} \\ &= 0,125 \text{ kWh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Error} &= \frac{|\text{Energi Pengukuran} - \text{Energi Perhitungan}|}{\text{Energi Perhitungan}} \times 100 \% \\ &= \frac{|0,12 - 0,125|}{0,125} \times 100 \% \\ &= 4 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Error} &= \frac{\sum \text{Error}}{N \text{ data}} \\ &= \frac{4\%}{5} \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

Perbandingan hasil pengujian perhitungan energi listrik dan perhitungan energi listrik secara teori ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan Perhitungan Energi Listrik

No.	Beban	Nilai kWh (Perhitungan)	Nilai kWh (Pengujian)	Kesalahan (%)
1.	40 W	0,04	0,04	0
2.	60 W	0,06	0,06	0
3.	100 W	0,10	0,10	0
4.	160 W	0,16	0,16	0
5.	250 W	0,125	0,12	4 ⁽¹⁾
Rata-rata kesalahan				0,8

Catatan:

(1) Pengujian dilakukan selama 30 menit.

Dari hasil perbandingan perhitungan energi listrik dalam Tabel 4.3, kesalahan rata-rata perhitungan energi listrik yang dilakukan oleh rangkaian ADE7757 adalah sebesar 0,8 %. Sehingga rangkaian penghitung energi listrik ADE7757 memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,2 %.

4.3. Pengujian Rangkaian *Buzzer*

4.3.1. Tujuan

Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian *buzzer* dapat bekerja dengan baik.

4.3.2. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

1. Voltmeter
2. Rangkaian *buzzer*
3. Catu daya 5 Volt

4.3.3. Langkah-Langkah Pengujian

1. Menghubungkan pin V_{CC} dan *ground* pada rangkaian *buzzer* dengan sumber tegangan sebesar 5 volt.
2. Memberikan tegangan sebesar 0 dan 5 volt pada input *driver buzzer* (transistor) secara bergantian.
3. Mengukur arus I_B dan tegangan V_{CE} pada transistor.
4. Mengamati dan mencatat hasil pengujian pada Tabel 4.4.

4.3.4. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian rangkaian *buzzer* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Rangkaian *Buzzer*

Input (V_{BB})	I_B (mA)	V_{CE} (Volt)	Keadaan <i>Buzzer</i>
0 V	0	4,2	Mati
5 V	0,15	0,4	Bunyi

4.3.5. Analisa Data Hasil Pengujian

Untuk mencari nilai I_B dan V_{CE} menggunakan persamaan berikut:

$$I_B = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_B}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, maka besarnya nilai I_B dan V_{CE} dapat diketahui sebagai berikut:

1. Diketahui : $V_{BB} = 0 \text{ V}$, $R_B = 22 \text{ K}\Omega$

$$V_{CC} = 5 \text{ V}, I_C = 0 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_B}$$

$$= \frac{0}{22 \text{ K}\Omega}$$

$$= 0$$

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Nilai Pengukuran} - \text{Nilai Perhitungan}|}{\text{Nilai Perhitungan}} \times 100 \%$$

$$= \frac{|0 - 0|}{0} \times 100 \%$$

$$= 0 \%$$

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C \cdot R_C \\
 &= 5 \text{ V} - 0,250 \text{ A} \\
 &= 5 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Error} &= \frac{|\text{Nilai Pengukuran} - \text{Nilai Perhitungan}|}{\text{Nilai Perhitungan}} \times 100 \% \\
 &= \frac{|4,2 \text{ V} - 5 \text{ V}|}{5 \text{ V}} \times 100 \% \\
 &= 16 \%
 \end{aligned}$$

2. Diketahui : $V_{BB} = 5 \text{ V}$, $R_B = 22 \text{ K}\Omega$

$$V_{CC} = 5 \text{ V}, I_C = 18,25 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_B} \\
 &= \frac{5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{22 \text{ K}\Omega} \\
 &= 0,19 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Error} &= \frac{|\text{Nilai Pengukuran} - \text{Nilai Perhitungan}|}{\text{Nilai Perhitungan}} \times 100 \% \\
 &= \frac{|0,15 \text{ mA} - 0,19 \text{ mA}|}{0,19 \text{ mA}} \times 100 \% \\
 &= 21,05 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C \cdot R_C \\
 &= 5 \text{ V} - 18,25 \text{ mA} \cdot 250 \text{ }\Omega \\
 &= 0,44 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Error} &= \frac{|\text{Nilai Pengukuran} - \text{Nilai Perhitungan}|}{\text{Nilai Perhitungan}} \times 100 \% \\ &= \frac{|0,4 \text{ V} - 0,44 \text{ V}|}{0,44 \text{ V}} \times 100 \% \\ &= 9,09 \% \end{aligned}$$

Perbandingan hasil pengukuran dan perhitungan dari pengujian rangkaian *buzzer* ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan Pengujian Rangkaian *Buzzer*

Input (V _{BB})	I _B (mA)		% <i>Error</i>	V _{CE} (Volt)		% <i>Error</i>	Keadaan <i>Buzzer</i>
	Ukur	Hitung		Ukur	Hitung		
0 V	0	0	0	4,2	5	16	Mati
5 V	0,15	0,19	21,05	0,4	0,44	9,09	Bunyi

Ketika diberi masukan *high*, maka rangkaian *switching* transistor akan mengaktifkan (menyalakan) *buzzer*. Sebaliknya, apabila diberi masukan *low*, maka *buzzer* dalam keadaan diam (mati).

Untuk menjadikan transistor dalam keadaan saturasi, maka arus yang masuk ke kaki basis harus sesuai dengan arus kerjanya.

4.4. Pengujian Keseluruhan Sistem

4.4.1. Pengujian Pengiriman Pulsa Prabayar (Nominal kWh)

4.4.1.1. Tujuan

Pengujian bertujuan untuk mengetahui keberhasilan *server* dalam proses pengisian ulang pulsa prabayar ke kWh meter prabayar pada unit rumah susun.

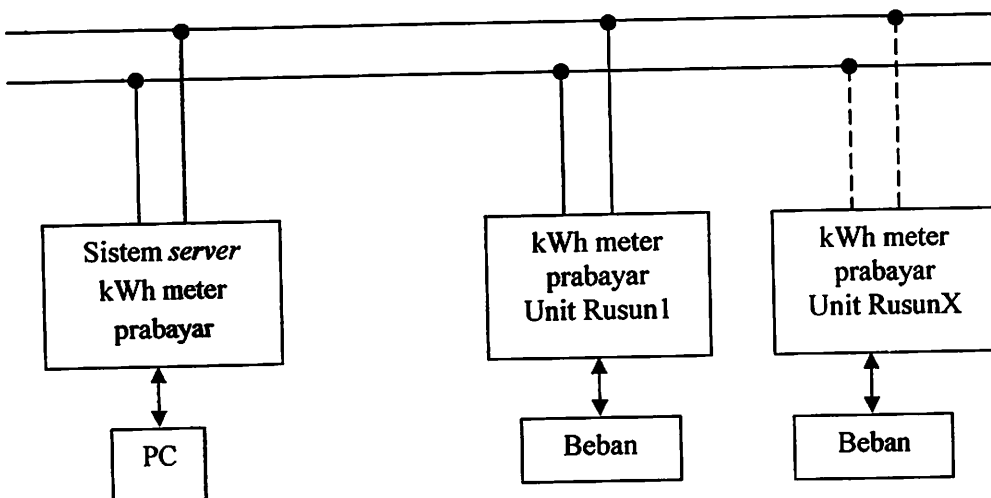
4.4.1.2. Peralatan yang Digunakan

1. Rangkaian keseluruhan dari *server*
2. Sistem pada kWh meter prabayar
3. Program Aplikasi untuk PC *Server*

4.4.1.3. Langkah-Langkah Pengujian

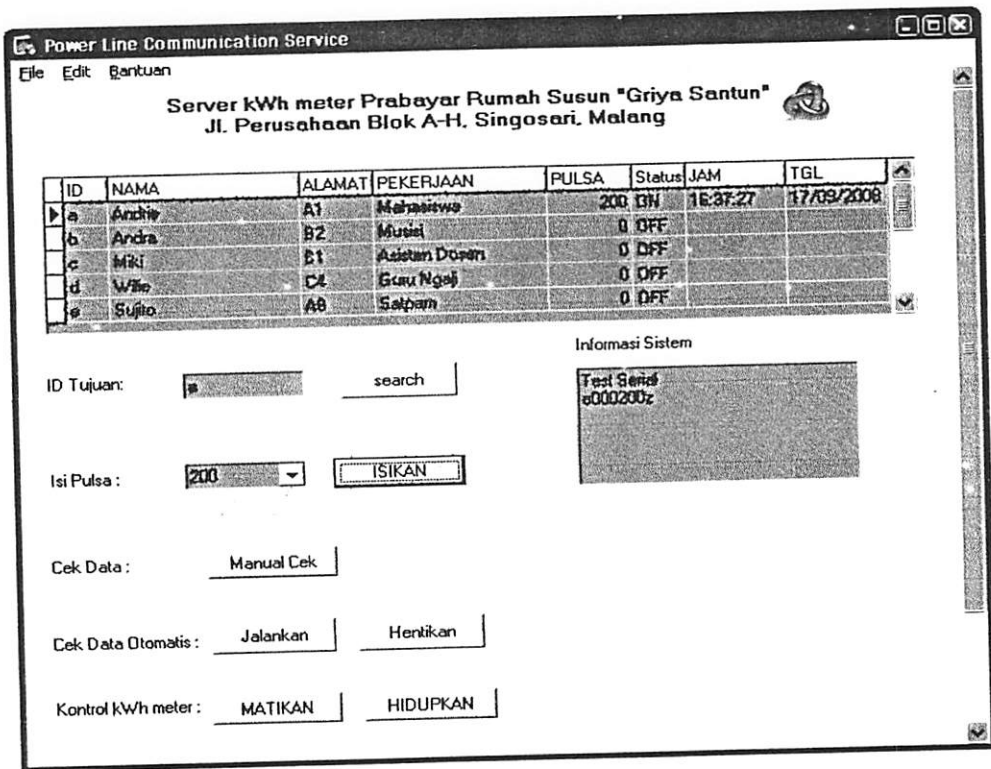
Langkah-langkah untuk melakukan pengujian dari pengisian ulang pulsa prabayar ke kWh meter prabayar adalah sebagai berikut:

1. Menyusun sistem yang digunakan seperti diagram blok dibawah ini:



Gambar 4.5 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem

2. Mengaktifkan program pada PC server sehingga muncul tampilan berikut:



Gambar 4.6 Program Aplikasi pada PC Server

3. Memasukkan ID pelanggan yang dituju pada kotak edit "ID Tujuan" dan menekan tombol *Search*.
4. Memilih nominal paket pulsa yang akan dikirimkan pada kotak "Isi Pulsa".
5. Menekan tombol "Isikan" untuk mengirimkan ke kWh meter pelanggan yang dituju.
6. Mengamati data yang diterima dari kWh Meter pelanggan dan memasukkan ke Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

4.4.1.4. Data Hasil Pengujian

Dari pengujian pengiriman paket pulsa dari *Server* ke kWh Meter pelanggan prabayar yang dituju untuk saldo awal masing-masing pelanggan 0 kWh diperoleh data-data sebagai berikut :

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Pengiriman Pulsa Prabayar

ID Tujuan	Pulsa yang dikirim (kWh)	Pulsa yang diterima (kWh)
a	200	200
b	200	0
c	200	0

Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Akumulasi Pengisian Ulang Pulsa Prabayar

No.	ID Tujuan	Saldo pulsa awal (kWh)	Jumlah isi ulang pulsa (kWh)	Saldo pulsa update (kWh)
1	a	200	100	300
2		300	50	350
3		350	25	375

4.4.1.5. Analisa Data Hasil Pengujian

Untuk pengujian pengiriman pulsa ke pelanggan dengan saldo awal 0 terlihat bahwa penengiriman pulsa berhasil untuk pelanggan dengan ID "a". Sedangkan pelanggan dengan ID "b" dan "c" tidak dapat dikirimi pulsa. Hal ini dikarenakan kWh Meter "a" terpasang dan dapat berkomunikasi dengan *server*,

sedangkan untuk kWh meter pelanggan “b” dan “c” belum terpasang atau tidak dapat melakukan komunikasi dengan *server*.

Untuk pengujian akumulasi pengisian ulang pulsa prabayar, pelanggan dengan ID “a” berhasil pada pengisian ulang pulsa prabayar mulai dari saldo awal 200 kWh dengan pengisian ulang sebesar 100 kWh, saldonya bertambah menjadi 300 kWh. Kemudian untuk pengisian ulang pulsa prabayar mulai dari saldo awal 300 kWh dengan pengisian ulang sebesar 50 kWh, saldonya bertambah menjadi 350 kWh. Dan untuk pengisian ulang pulsa prabayar mulai dari saldo awal 350 kWh dengan pengisian ulang sebesar 250 kWh, saldonya bertambah menjadi 375 kWh.

Sehingga dari pengujian pengisian pulsa dapat disimpulkan bahwa *server* telah dapat berkomunikasi dan melakukan pengisian ulang pulsa prabayar pada kWh meter pelanggan prabayar untuk rumah susun yang telah aktif.

4.4.2. Pengujian Pemeriksaan Data Pelanggan

4.4.2.1. Tujuan

Pengujian bertujuan untuk mengetahui keberhasilan *server* dalam pemeriksaan atau pengecekan jumlah pulsa dan status kWh meter prabayar pada setiap unit rumah susun.

4.4.2.2. Peralatan yang Digunakan

1. Rangkaian keseluruhan dari *server*
2. Sistem pada kWh meter prabayar
3. Program Aplikasi untuk PC *Server*.

4.4.2.3. Langkah-Langkah Pengujian

1. Menyusun sistem yang digunakan seperti Gambar 4.5.
2. Mengaktifkan program pada PC *server* sehingga muncul tampilan seperti Gambar 4.6.
3. Memasukkan ID pelanggan yang dituju pada kotak Edit “ID Tujuan” atau mengklik langsung ID tujuan pada tabel program aplikasi.
4. Menekan tombol “Jalankan” pada bagian pengecekan otomatis untuk melakukan pengecekan data pelanggan tiap 1 menit sekali.
5. Mengamati data yang diterima dari kWh Meter pelanggan dan memasukkan ke tabel 4.8.

4.4.2.4. Data Hasil Pengujian

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Pemeriksaan Otomatis Data Pelanggan

ID	Status meteran	Status di server	Saldo pulsa (kWh) tercatat pada database server			Saldo pulsa (kWh) terlihat pada LCD kWh Meter		
			1 menit	2 menit	3 menit	1 menit	2 menit	3 menit
a	ON	ON	375	375	375	375	375	375
b	N/A	OFF	0	0	0	0	0	0
c	N/A	OFF	0	0	0	0	0	0

3. Memasukkan ID pelanggan yang dituju pada kotak Edit “ID Tujuan” atau mengklik langsung ID tujuan pada tabel program aplikasi.
4. Menekan tombol “Hentikan” pada bagian pengecekan otomatis untuk menghentikan pengecekan data pelanggan jika masih berjalan.
5. Menekan tombol “Matikan” untuk memadamkan aliran listrik pada pelanggan yang dituju.
6. Mengamati data atau laporan yang diterima dari kWh Meter pelanggan dan memasukkan ke tabel 4.9.

4.4.3.4. Data Hasil Pengujian

Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Pengontrolan Aliran Listrik ke Pelanggan

ID Tujuan	Perintah pengontrolan	Listrik di Unit pelanggan	Status yang diterima <i>server</i>
a	Matikan	OFF	OFF
	Hidupkan	ON	ON
b	Matikan	N/A	OFF
	Hidupkan	N/A	OFF
c	Matikan	N/A	OFF
	Hidupkan	N/A	OFF

4.4.3.5. Analisa Data Hasil Pengujian

Dari data hasil pengujian pengontrolan aliran listrik ke pelanggan, *server* telah dapat menontrol aliran listrik ke pelanggan. Untuk pelanggan dengan ID “a” dengan memberikan perintah “Matikan” listrik ke pelanggan tersebut padam dan

server mendapatkan laporan status “Off”. Dan dengan memberikan perintah “Hidupkan” listrik hidup kembali dan *server* mendapatkan laporan status “On”. Untuk pelanggan dengan ID “b” dan “c” status yang diterima selalu “Off” karena kWh meter untuk pelanggan tersebut belum terpasang atau tidak ada.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian rangkaian dan pengujian sistem keseluruhan yang telah dilakukan pada bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian rangkaian mikrokontroler ATMEGA8515 dan LCD dapat diketahui bahwa rangkaian tersebut dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.
2. Dari hasil pengujian rangkaian penghitung energi listrik ADE7757 memiliki *error* (kesalahan) rata-rata sebesar 0,8 %.
3. Data yang diterima oleh unit penghitung pemakaian energi listrik dapat diakumulasikan dengan data yang lama dan disimpan di mikrokontroler serta dapat ditampilkan pada *display* (LCD).
4. Sistem kWh meter Prabayar yang menggunakan jala-jala listrik sebagai media komunikasi data dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, yaitu mampu melakukan perhitungan energi listrik dan mampu melakukan komunikasi dengan unit *server*.

5.2. Saran

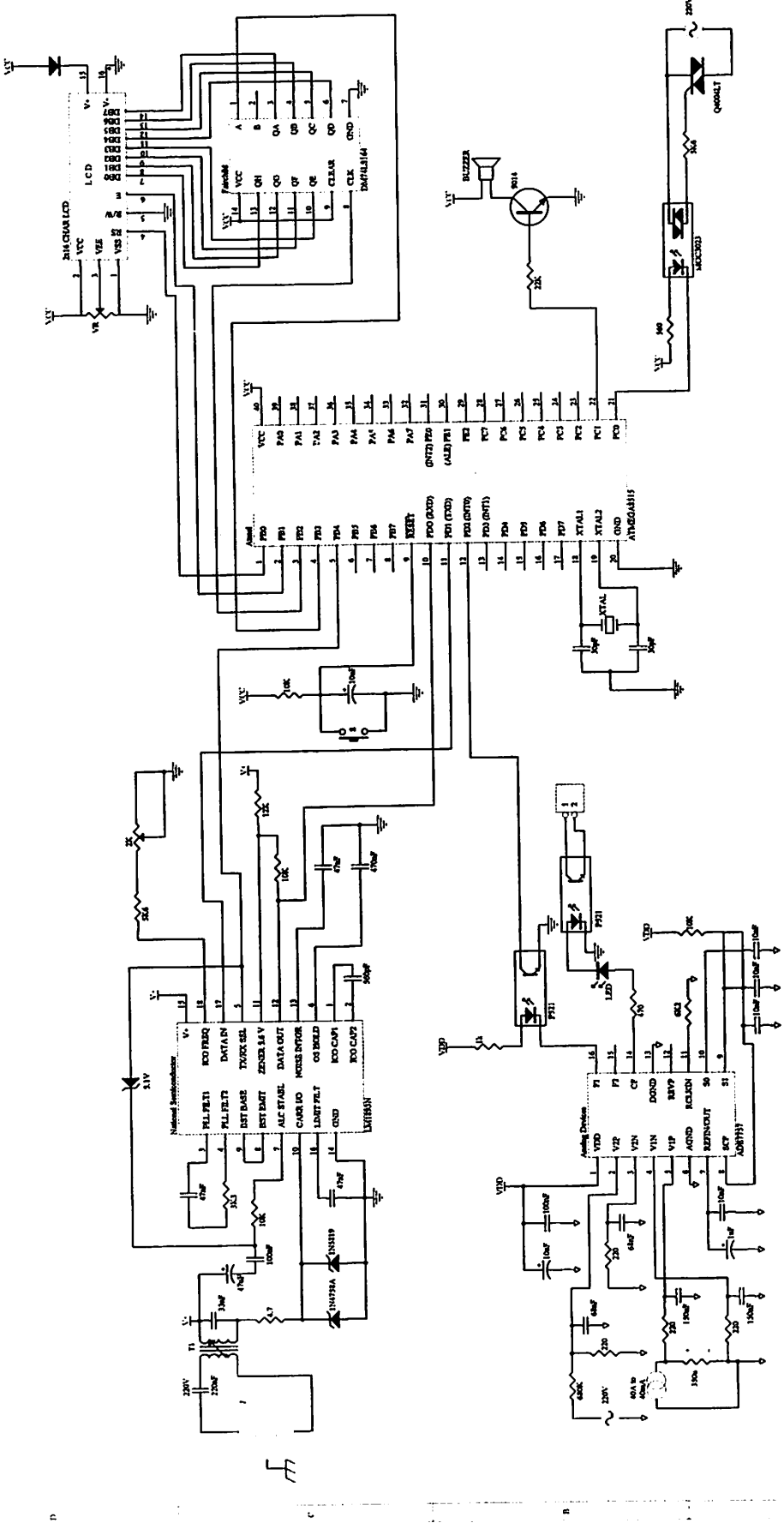
1. Perlu diadakan penelitian tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sistem, seperti: faktor harmonisa dan *noise*.

2. Sebaiknya dilakukan penambahan sistem keamanan data karena dalam perancangan dan pembuatan alat ini belum memperhitungkan masalah keamanan data yang ditransmisikan melalui jala-jala.
3. Untuk pengembangan lebih lanjut bisa ditambahkan pembelian nominal kWh melalui SMS atau melalui ATM agar pelanggan dapat lebih mudah memperoleh nominal kWh yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Datasheet LM1893/LM2893. 1995. *Carrier-Current Transceiver*.
www.DigChip.com
- [2] DataSheet ADE7757. 2003. *Energy Metering IC with Pulse Output*.
www.analog.com
- [3] Atmel. 2003. *8-bit AVR microcontroller with 8Kbytes In Sistem Programable Flash*.
www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2512.pdf
- [4] Seiko Instruments Inc. 1987. *Liquid Crystal Display Module M1632 User Manual*. Jepang.
- [5] <http://id.wikipedia.org>
- [6] <http://dewey.petra.ac.id>
- [7] www.datasheetcatalog.com
- [8] <http://indonetwork.co.id/osmondconsulting/prod>
- [9] Sutrisno. 1986. *Elektronika: Teori dan Penerapannya Jilid I*. Bandung: Penerbit ITB.
- [10] Kusuma, Wijaya. 2007. *Unit Penghitung Pemakaian Daya Listrik Pada Sistem kWh Meter Prabayar Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8515 Menggunakan Power Line Carrier (PLC) Sebagai Pentransmisi Data*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

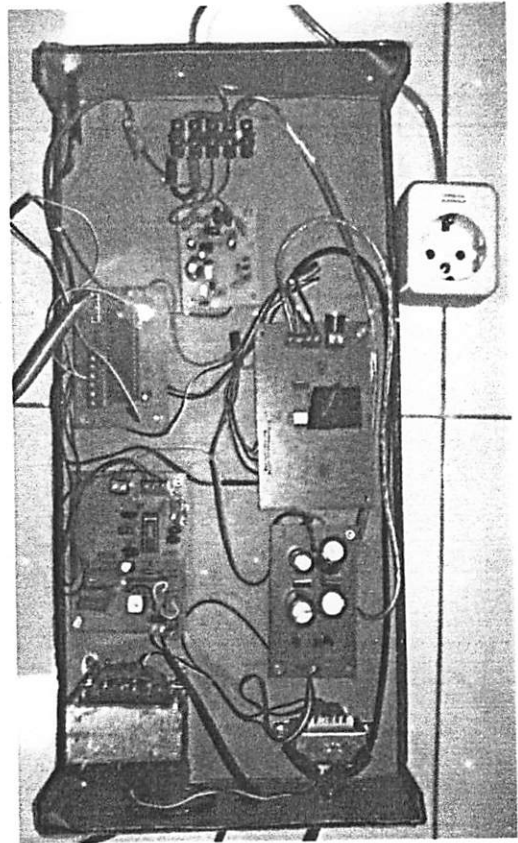
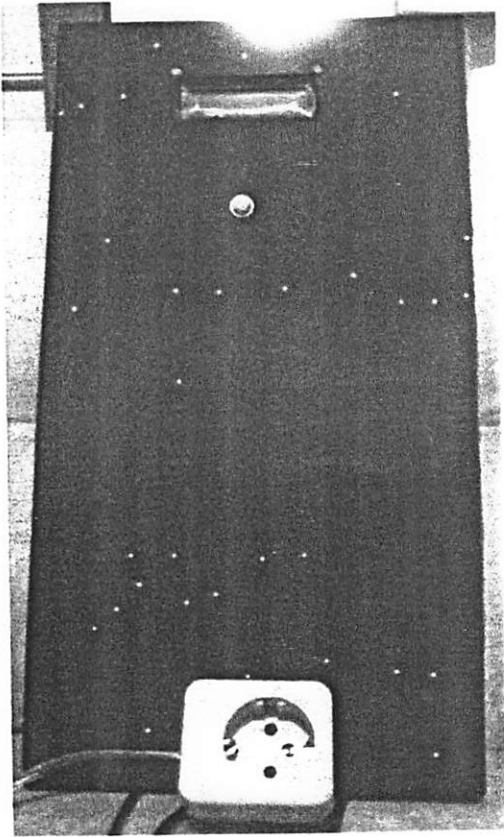
LAMPPIRAN



Title		
Size	Number	Revisions
Y Found	YCS-221	
Date	12/24/92	Drawn By
Rev	1	Checked By

W

FOTO ALAT





FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : ANDRI WINOTO TJANDRAYANA
 NIM : 02.17.087
 Masa Bimbingan : 14 Juni 2008 s/d 14 Desember 2008
 Judul Skripsi : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KWH METER PRABAYAR PADA RUMAH SUSUN YANG MENGGUNAKAN JALA-JALA LISTRIK SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA DENGAN UNIT SERVER

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	19/08/08	Konsultasi Bab I dan II	
2.	20/08/08	Revisi Bab I - Tujuan dan batasan masalah	
3.	24/08/08	Konsultasi Bab III	
4.	04/09/08	Konsultasi Bab IV dan V	
5.	14/09/08	Konsultasi Makalah Seminar Hasil	
6.	21/09/08	Konsultasi Laporan Skripsi	
7.	23/09/08	ACC keseluruhan laporan	
8.			
9.			
10.			










Malang, 2008
 Dosen Pembimbing,

Ir. Widodo Pudji M., MT.
 NIP. Y. 1028700171

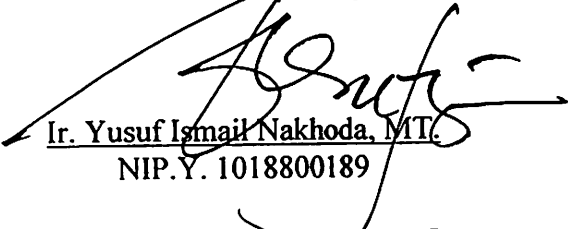
FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama
NIM
Masa Bimbingan
Judul Skripsi

: ANDRI WINOTO TJANDRAYANA
: 02.17.087
: 14 Juni 2008 s/d 14 Desember 2008
: PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KWH METER
PRABAYAR PADA RUMAH SUSUN YANG MENGGUNAKAN
JALA-JALA LISTRIK SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DATA
DENGAN UNIT SERVER

Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
20/08/08	Konsultasi Bab I dan II	
21/08/08	Revisi Bab I – Tujuan, rumusan dan batasan masalah	
25/08/08	Konsultasi Bab III	
28/08/08	Revisi Bab III – Skematik rangkaian penghitung energi listrik dan mikrokontroler	
05/09/08	Konsultasi Bab IV dan V	
09/09/08	Revisi Bab IV dan V – Rumus, penulisan tabel dan kesimpulan	
15/09/08	Konsultasi Makalah Seminar Hasil	
22/09/08	Konsultasi Laporan Skripsi	
23/09/08	ACC keseluruhan laporan dan persiapan Ujian Skripsi	

Malang, 24 September 2008
Dosen Pembimbing


Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.
NIP.Y. 1018800189



Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA : *Andri winoto Jandrayana*
NIM : *0217087*
Perbaikan meliputi :

Pengujian busur

Malang, 25 Sept 2008

M. Ibrahim A.

(M. Ibrahim A, ST MT)



LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Jumat
Tanggal : 26 September 2008

Telah dilakukan perbaikan oleh:

Nama : Andri Winoto Tjandrayana
NIM : 02.17.087
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Elektronika S-1
Judul Skripsi : Perancangan dan Pembuatan kWh Meter Prabayar pada
Rumah Susun yang Menggunakan Jala-Jala Listrik
sebagai Media Komunikasi Data dengan Unit Server

Perbaikan meliputi:

No.	Materi Perbaikan	Paraf
1.	Pengujian <i>buzzer</i>	

Disetujui Oleh:

Penguji I

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P. 1030100358

Penguji II

Ir. TH. Mimien Mustikawati, MT
NIP.P. 1030000352

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Ir. Widodo Pudji M., MT
NIP. Y. 1028700171

Dosen Pembimbing II

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y. 1018800189

```

/* File include */
#include <mega8515.h>
#include <delay.h>
#include "lcdku.c"
//#include "i2c.c"

/* Pendefinisian */

#define control PORTB.4
#define pc PORTD.2
#define triac PORTC.0
#define pulsa PIND.2
#define buser PORTC.3
#define id 'a'

/* Inisialisasi variabel global */
unsigned char a,d[10];
char c;
long b,h,h1;
unsigned int i;
bit t,trx,tsimpan,tlistrik,t1;

/*Inisialisasi input output */
void init_port()
{
    DDRC=0b00001111;
    DDRB=0b00011111;
    DDRD=0b00001110;
    DDRA=0b00000000;
    PORTD.2=1;
    //scl=1;sdad=1;
}

void initser()
{
    UBRR=64;
    UBRRH=3;
    UCSRA=0;//0x80//aslinya 0
    UCSRB=0x18;//0x98; //Txd,Rxd Enabled aslinya 18
    UCSRC=0x86; //8 bit data
}

unsigned char terimaser()
{
    while((UCSRA & 0x80) == 0x00);
    return UDR;
}

void kirimser(char TxData)
{
    while((UCSRA & 0x20) == 0x00);
    //while ( !( UCSRA & (1<<UDRE) );
    UDR = TxData;
    delay_ms(10);
}

void kirimtext(flash char *text)
{
    while(*text)
    {
        kirimser(*text++);
    }
}

```

```

/*inisialisasi timer 1*/
void init_timer1()
{
    /* Timer ini akan digunakan trigger CDI */
    /* frekuensi clock 2 MHz */
    TCCR1A=0x00;
    TCCR1B=0x08;
    //TIMSK=TIMSK | 0x10;
    OCR1AH=0xff;
    OCR1AL=0xff;
    TCNT1H=0;
    TCNT1L=0;
}

void init_ext_interrupt()
{
    /* Set untuk interrupt 0 rising edge */
    MCUCR=0x03;
    GICR=GICR | 0x40;
}

void tampil(unsigned long biner)
{
    long int ascii;
    ascii=biner; ascii=(ascii/100000) | 0x30; dataout(ascii,1);
    ascii=biner; ascii=(ascii/10000%10) | 0x30; dataout(ascii,1);
    ascii=biner; ascii=(ascii/1000%10) | 0x30; dataout(ascii,1);
    ascii=biner; ascii=((ascii/100)%10) | 0x30; dataout(ascii,1);
    ascii=biner; ascii=((ascii/10)%10) | 0x30; dataout(ascii,1);
    ascii=biner; ascii=(ascii%10) | 0x30; dataout(ascii,1);
    dataout(',',1);
}

void tampilc(unsigned long biner)
{
    long int ascii;
    ascii=biner; ascii=((ascii/10)%10) | 0x30; dataout(ascii,1);
    ascii=biner; ascii=(ascii%10) | 0x30; dataout(ascii,1);
}

/* Turn registers saving off */
#pragma savereg-
/* interrupt handler */
interrupt [2] void external_int0(void)
{
    #asm
    push r30
    push r31
    in r30,SREG
    push r30
    #endasm
    c- ;!1=1;
    if(c<=0)
    {
        if(b<=0){b=0;triac=1;}
        else if(b<=10){b-;buser=1;}
        else {b-;buser=0;}
        tsimpan=1;
        c=100;
    }
    #asm
    pop r30
    out SREG,r30
    pop r31
}

```



```

    pop r30
    #endasm
}
#pragma savereg+
#pragma savereg-
/* interrupt handler */
interrupt [10] void interuptrx(void)
{
    while((UCSRA & 0x80) == 0x00);
    if(UDR=='a')trx=1;
}
void tuliseep(unsigned int uiAddress, unsigned char ucData)
{
    // while(EECR.1 == 1);
    while((EECR & 0x02) == 0x02);
    EEAR = uiAddress;
    EEDR = ucData;
    //EECR.2=1;
    //EECR.1=1;
    EECR |= 0x04;
    EECR |= 0x02;
}
unsigned char bacaeep(unsigned int uiAddress)
{
    // while(EECR.1 == 1);
    while((EECR & 0x02) == 0x02);
    EEAR = uiAddress;
    //EECR.0=1;
    EECR |= 0x01;
    return EEDR;
}
void simpan(unsigned long si)
{
    unsigned char aa;

    aa=si/100000;tuliseep(0,aa);
    aa=si/10000;tuliseep(1,aa);
    aa=si/1000%10;tuliseep(2,aa);
    aa=si/100%10;tuliseep(3,aa);
    aa=si/10%10;tuliseep(4,aa);
    aa=si%10;tuliseep(5,aa);
}
long keluar()
{
    unsigned long ke,lo;
    lo=bacaeep(0);ke=lo*100000;
    lo=bacaeep(1);ke=lo*10000+ke;
    lo=bacaeep(2);ke=lo*1000+ke;
    lo=bacaeep(3);ke=lo*100+ke;
}

```

```

lo=bacaEEP(4);ke=lo*10+ke;
lo=bacaEEP(5);ke=lo+ke;
return ke;
}
void pancingan()
{
for(i=0;i<24;i++)
kirimser('%');
}

/* Program Utama */
void main()
{

/* Inisialisasi */
init_port();
//init_timer1();
//init_timer2();
init_ext_interrupt();
initLCD();
//init_ADC();
initser();
//i2c_init();
c=99;
delay_ms(10);
control=0;tsimpan=0;
//tuliseep(10,'d');
delay_ms(1000);
//a=bacaEEP(10);
//pos(1,1);dataout(a,1);
#asm("ser")
//simpan(10);
cetak(1,4,"KWH ITN");
b=keluar();

```

```

delay_ms(2000);
do
{
control=0;
busek();
if(b<=0){b=0;triac=1;}
else if(b<=10){buser=1;}
else {buser=0;}
if(triac==0)cetak(1,1,"Sisa pulsa ");
else cetak(1,1,"Listrik mati");
control=0;
cetak(2,11,"KWh");
pos(2,1);tampil(b);
pos(2,8);tampilc(c);

while(1)
{ pos(1,16);
while((UCSRA & 0x80) == 0x00)
{
if(tsimpan==1){pos(2,1);simpan(b);tampil(b);tsimpan=0;}
else if(t1==1){pos(2,8);simpan(b);tampilc(c);t1=0;}
else ;
}
if(UDR==id)break;
else ;//dataout(UDR,1);
}
i=0;
while(a!='z'){a=terimaser();d[i]=a;dataout(a,1);i++;}
cetak(1,1,"ada data masuk");
if(d[0]=='m')triac=1;
else if(d[0]=='n')triac=0;
else if(d[0]=='p');
else
{

```

```
h1=(d[0]-48);h=h1*100000;
h1=(d[1]-48);h=h1*10000+h;
h1=(d[2]-48);h=h1*1000+h;
h1=(d[3]-48);h=h1*100+h;
h1=(d[4]-48);h=h1*10+h;
h1=(d[5]-48);h=h1+h;
b=h;
simpan(b);
triac=0;
}
control=1;delay_ms(1000);
pancingan();
for(i=0;i<5;i++)
{
  kirimser(id);
  a=b/100000+48;kirimser(a);
  a=b/10000%10+48;kirimser(a);
  a=b/1000%10+48;kirimser(a);
  a=b/100%10+48;kirimser(a);
  a=b/10%10+48;kirimser(a);
  a=b%10+48;kirimser(a);
  kirimser('z');
}
}while(1);
}
```

FEATURES

- On-Chip Oscillator as Clock Source
- High Accuracy, Supposes 50 Hz/60 Hz IEC 521/IEC 61036
Less than 0.1% Error over a Dynamic Range of 500 to 1
- The ADE7757 Supplies Average Real Power on the
Frequency Outputs F1 and F2
- The High Frequency Output CF Is Intended for
Calibration and Supplies Instantaneous Real Power
- The Logic Output REVP Can Be Used to Indicate a
Potential Miswiring or Negative Power
- Direct Drive for Electromechanical Counters and
2-Phase Stepper Motors (F1 and F2)
- Proprietary ADCs and DSP Provide High Accuracy over
Large Variations in Environmental Conditions and
Time
- On-Chip Power Supply Monitoring
- On-Chip Creep Protection (No Load Threshold)
- On-Chip Reference 2.5 V (20 ppm/°C Typical)
with External Overdrive Capability
- Single 5 V Supply, Low Power (20 mW Typical)
- Low Cost CMOS Process
- AC Input Only

GENERAL DESCRIPTION

The ADE7757 is a high accuracy electrical energy measurement IC. It is a pin reduction version of the ADE7755 with an enhancement of a precise oscillator circuit that serves as a clock source to the chip. The ADE7757 eliminates the cost of an external crystal or resonator, thus reducing the overall cost of a meter

built with this IC. The chip directly interfaces with the shunt resistor and operates only with ac input.

The ADE7757 specifications surpass the accuracy requirements as quoted in the IEC 61036 standard. The AN-679 Application Note can be used as a basis for a description of an IEC 61036 low cost watt-hour meter reference design.

The only analog circuitry used in the ADE7757 is in the Σ - Δ ADCs and reference circuit. All other signal processing (e.g., multiplication and filtering) is carried out in the digital domain. This approach provides superior stability and accuracy over time and extreme environmental conditions.

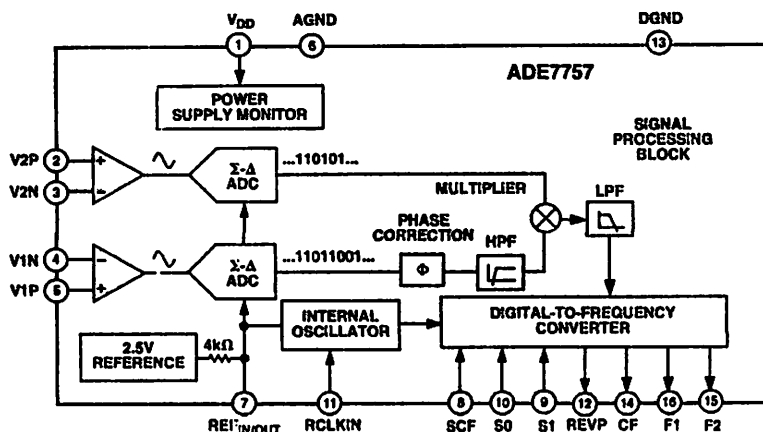
The ADE7757 supplies average real power information on the low frequency outputs F1 and F2. These outputs may be used to directly drive an electromechanical counter or interface with an MCU. The high frequency CF logic output, ideal for calibration purposes, provides instantaneous real power information.

The ADE7757 includes a power supply monitoring circuit on the V_{DD} supply pin. The ADE7757 will remain inactive until the supply voltage on V_{DD} reaches approximately 4 V. If the supply falls below 4 V, the ADE7757 will also remain inactive and the F1, F2, and CF outputs will be in their nonactive modes.

Internal phase matching circuitry ensures that the voltage and current channels are phase matched while the HPF in the current channel eliminates dc offsets. An internal no-load threshold ensures that the ADE7757 does not exhibit creep when no load is present.

The ADE7757 is available in a 16-lead SOIC narrow-body package.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



U.S. Patents 5,745,323; 5,760,617; 5,862,069; 5,872,469; others pending.

REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 www.analog.com
Fax: 781/328-8703 © 2003 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

7757—SPECIFICATIONS ($V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$, $AGND = DGND = 0\text{ V}$, On-Chip Reference, $RCLKIN = 6.2\text{ k}\Omega$, $0.5\% \pm 50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$, T_{MIN} to $T_{MAX} = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Parameter	Value	Unit	Test Conditions/Comments
Accuracy ^{1,2} Measurement Error ¹ on Channel V1	0.1	% Reading typ	Channel V2 with Full-Scale Signal ($\pm 165\text{ mV}$), 25°C Over a Dynamic Range 500 to 1 Line Frequency = 45 Hz to 65 Hz
Phase Error ¹ between Channels Channel 1 Phase Lead 37° ($Z_F = 0.8$ Capacitive)	± 0.1	Degrees ($^\circ$) max	
Channel 1 Phase Lag 60° ($Z_F = 0.5$ Inductive)	± 0.1	Degrees ($^\circ$) max	
Power Supply Rejection ¹ Output Frequency Variation (CF)	0.2	% Reading typ	$S0 = S1 = 1$, $V1 = 21.2\text{ mV rms}$, $V2 = 116.7\text{ mV rms}$ @ 50 Hz Ripple on V_{DD} of 200 mV rms @ 100 Hz
Power Supply Rejection ¹ Output Frequency Variation (CF)	± 0.3	% Reading typ	$S0 = S1 = 1$, $V1 = 21.2\text{ mV rms}$, $V2 = 116.7\text{ mV rms}$, $V_{DD} = 5\text{ V} \pm 250\text{ mV}$
ANALOG INPUTS			
Channel V1 Maximum Signal Level	± 30	mV max	See Analog Inputs section V1P and V1N to AGND
Channel V2 Maximum Signal Level	± 165	mV max	V2P and V2N to AGND
Input Impedance (DC)	320	$\text{k}\Omega$ min	OSC = 450 kHz, RCLKIN = 6.2 $\text{k}\Omega$, $0.5\% \pm 50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Bandwidth (-3 dB)	7	kHz nominal	OSC = 450 kHz, RCLKIN = 6.2 $\text{k}\Omega$, $0.5\% \pm 50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$
DC Offset Error ^{1,2}	± 18	mV max	See Terminology Section and Typical Performance Characteristics
Nonlinearity Error ¹	± 4	% Ideal typ	External 2.5 V Reference $V1 = 21.2\text{ mV rms}$, $V2 = 116.7\text{ mV rms}$
OSCILLATOR FREQUENCY (OSC)			
Oscillator Frequency Tolerance ¹	± 12	% Reading typ	RCLKIN = 6.2 $\text{k}\Omega$, $0.5\% \pm 50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Oscillator Frequency Stability ¹	± 30	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$ typ	
REFERENCE INPUT			
Reference Input Voltage Range	2.7 2.3	V max V min	2.5 V + 8% 2.5 V - 8%
Input Capacitance	10	pF max	
INTERNAL REFERENCE			
Reference Error	± 200	mV max	Nominal 2.5 V
Temperature Coefficient	± 20	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$ typ	
ANALOG INPUTS³			
Input High Voltage, V_{INH}	2.4	V min	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$
Input Low Voltage, V_{INL}	0.8	V max	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$
Input Current, I_{IN}	± 1	μA max	Typically 10 nA, $V_{IN} = 0\text{ V}$ to V_{DD}
Input Capacitance, C_{IN}	10	pF max	
ANALOG OUTPUTS³			
Output High Voltage, V_{OH}	4.5	V min	$I_{SOURCE} = 10\text{ mA}$ $V_{DD} = 5\text{ V}$
Output Low Voltage, V_{OL}	0.5	V max	$I_{SINK} = 10\text{ mA}$ $V_{DD} = 5\text{ V}$
Output High Voltage, V_{OH}	4	V min	$I_{SOURCE} = 5\text{ mA}$ $V_{DD} = 5\text{ V}$
Output Low Voltage, V_{OL}	0.5	V max	$I_{SINK} = 5\text{ mA}$ $V_{DD} = 5\text{ V}$
Frequency Output Error ^{1,2} (CF)	± 10	% Ideal typ	External 2.5 V Reference, $V1 = 21.2\text{ mV rms}$, $V2 = 116.7\text{ mV rms}$
POWER SUPPLY			
Operating Voltage	4.75 5.25 5	V min V max mA max	For Specified Performance 5 V - 5% 5 V + 5% Typically 4 mA

See Terminology section for explanation of specifications.
 Data points in Typical Performance Characteristics.
 Data tested during initial release and after any redesign or process change that may affect this parameter.
 Specifications subject to change without notice.

TIMING CHARACTERISTICS^{1, 2} ($V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$, $AGND = DGND = 0\text{ V}$, On-Chip Reference, $R_{CLKIN} = 6.2\text{ k}\Omega$, $0.5\% \pm 50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$, T_{MIN} to $T_{MAX} = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Parameter	A, B Versions	Unit	Test Conditions/Comments
3	244	ms	F1 and F2 Pulse Width (Logic Low).
	See Table II	sec	Output Pulse Period. See Transfer Function section.
3, 4	$1/2 t_2$	sec	Time between F1 Falling Edge and F2 Falling Edge.
	173	ms	CF Pulse Width (Logic High).
	See Table III	sec	CF Pulse Period. See Transfer Function section.
	2	μs	Minimum Time between F1 and F2 Pulses.

NOTES

Sample tested during initial release and after any redesign or process change that may affect this parameter.

See Figure 1.

The pulse widths of F1, F2, and CF are not fixed for higher output frequencies. See Frequency Outputs section.

The CF pulse is always 35 μs in the high frequency mode. See Frequency Outputs section and Table III.

Specifications subject to change without notice.

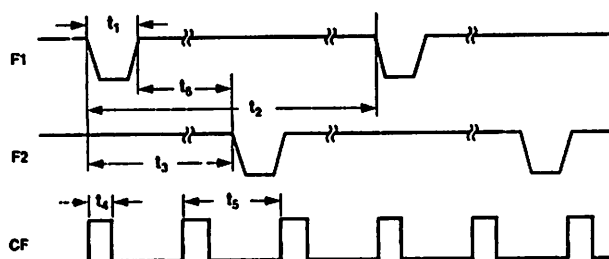


Figure 1. Timing Diagram for Frequency Outputs

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

(25°C, unless otherwise noted.)

to AGND	−0.3 V to +7 V
to DGND	−0.3 V to +7 V
ing Input Voltage to AGND	
P, V1N, V2P, and V2N	−6 V to +6 V
ence Input Voltage to AGND	−0.3 V to $V_{DD} + 0.3$ V
al Input Voltage to DGND	−0.3 V to $V_{DD} + 0.3$ V
al Output Voltage to DGND	−0.3 V to $V_{DD} + 0.3$ V
ating Temperature Range	
ustrial (A, B Versions)	−40°C to +85°C
ge Temperature Range	−65°C to +150°C
ion Temperature	150°C
ead Plastic SOIC, Power Dissipation	350 mW
Thermal Impedance ²	124.9°C/W
Temperature, Soldering	
oor Phase (60 sec)	215°C
arred (15 sec)	220°C

Conditions above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those listed in the operational conditions of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.
¹ JEDEC Standard (2-layer) Board Data.

ORDERING GUIDE

Model	Package Description	Package Options
ADE7757ARN	SOIC Narrow-Body	RN-16
ADE7757ARNRL	SOIC Narrow-Body in Reel	RN-16
ADE7757EB	Evaluation Board	Evaluation Board
ADE7757ARN-REF	Reference Design	Reference Design

TERMINOLOGY**Measurement Error**

Measurement error associated with the energy measurement made by the ADE7757 is defined by the following formula:

$$\text{Error} = \frac{\text{Energy Registered by ADE7757} - \text{True Energy}}{\text{True Energy}} \times 100\%$$

Phase Error between Channels

The HPF (high-pass filter) in the current channel (Channel V1) introduces a phase lead response. To offset this phase response and to equalize the phase response between channels, a phase correction network is also placed in Channel V1. The phase correction network matches the phase to within $\pm 0.1^\circ$ over a range of 45 Hz to 1 kHz, and $\pm 0.2^\circ$ over a range 40 Hz to 1 kHz (see Figures 11 and 12).

CAUTION

The ADE7757 is an electrostatic discharge (ESD) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the ADE7757 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.

Power Supply Rejection

This quantifies the ADE7757 measurement error as a percentage of reading when the power supplies are varied.

For the ac PSR measurement, a reading at nominal supplies (5 V) is taken. A 200 mV rms/100 Hz signal is then introduced onto the supplies and a second reading is obtained under the same input signal levels. Any error introduced is expressed as a percentage of reading—see the Measurement Error definition.

For the dc PSR measurement, a reading at nominal supplies (5 V) is taken. The supplies are then varied $\pm 5\%$ and a second reading is obtained with the same input signal levels. Any error introduced is again expressed as a percentage of reading.

ADC Offset Error

This refers to the small dc signal (offset) associated with the analog inputs to the ADCs. However, the HPF in Channel V1 eliminates the offset in the circuitry. Therefore, the power calculation is not affected by this offset.

Frequency Output Error (CF)

The frequency output error of the ADE7757 is defined as the difference between the measured output frequency (minus the offset) and the ideal output frequency. The difference is expressed as a percentage of the ideal frequency. The ideal frequency is obtained from the ADE7757 transfer function (see the Transfer Function section).

Gain Error

The gain error of the ADE7757 is defined as the difference between the measured output frequency (minus the offset) and the ideal output frequency. The difference is expressed as a percentage of the ideal frequency. The ideal frequency is obtained from the ADE7757 transfer function (see the Transfer Function section).

Oscillator Frequency Tolerance

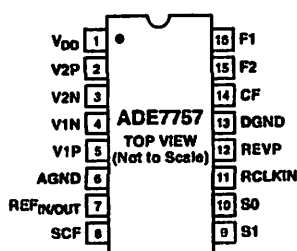
The oscillator frequency tolerance of the ADE7757 is defined as part-to-part frequency variation in terms of percentage at room temperature (25°C). It is measured by taking the difference between the measured oscillator frequency and the nominal frequency defined in the Specifications section.

Oscillator Frequency Stability

Oscillator frequency stability is defined as frequency variation in terms of parts-per-million drift over the operating temperature range. In a metering application, the temperature range is -40°C to $+85^\circ\text{C}$. Oscillator frequency stability is measured by taking the difference between the measured oscillator frequency at -40°C and $+85^\circ\text{C}$ and the measured oscillator frequency at $+25^\circ\text{C}$.



PIN CONFIGURATION



PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Pin No.	Mnemonic	Description
	V _{DD}	Power Supply. This pin provides the supply voltage for the circuitry in the ADE7757. The supply voltage should be maintained at 5 V ± 5% for specified operation. This pin should be decoupled with a 10 μF capacitor in parallel with a ceramic 100 nF capacitor.
3	V2P, V2N	Analog Inputs for Channel V2 (voltage channel). These inputs provide a fully differential input pair. The maximum differential input voltage is ±165 mV for specified operation. Both inputs have internal ESD protection circuitry; an overvoltage of ±6 V can be sustained on these inputs without risk of permanent damage.
5	V1N, V1P	Analog Inputs for Channel V1 (current channel). These inputs are fully differential voltage inputs with a maximum signal level of ±30 mV with respect to the V1N pin for specified operation. Both inputs have internal ESD protection circuitry and, in addition, an overvoltage of ±6 V can be sustained on these inputs without risk of permanent damage.
	AGND	This provides the ground reference for the analog circuitry in the ADE7757, i.e., ADCs and reference. This pin should be tied to the analog ground plane of the PCB. The analog ground plane is the ground reference for all analog circuitry, e.g., antialiasing filters, current and voltage sensors, and so forth. For accurate noise suppression, the analog ground plane should be connected to the digital ground plane at only one point. A star ground configuration will help to keep noisy digital currents away from the analog circuits.
	REF _{INOUT}	This pin provides access to the on-chip voltage reference. The on-chip reference has a nominal value of 2.5 V and a typical temperature coefficient of 20 ppm/°C. An external reference source may also be connected at this pin. In either case, this pin should be decoupled to AGND with a 1 μF tantalum capacitor and a 100 nF ceramic capacitor. The internal reference cannot be used to drive an external load.
	SCF	Select Calibration Frequency. This logic input is used to select the frequency on the calibration output CF. Table III shows calibration frequencies selection.
10	S1, S0	These logic inputs are used to select one of four possible frequencies for the digital-to-frequency conversion. With this logic input, designers have greater flexibility when designing an energy meter. See the Selecting a Frequency for an Energy Meter Application section.
1	RCLKIN	To enable the internal oscillator as a clock source to the chip, a precise low temperature drift resistor at a nominal value of 6.2 kΩ must be connected from this pin to DGND.
2	REVP	This logic output will go high when negative power is detected, i.e., when the phase angle between the voltage and current signals is greater than 90°. This output is not latched and will be reset when positive power is once again detected. The output will go high or low at the same time that a pulse is issued on CF.
3	DGND	This provides the ground reference for the digital circuitry in the ADE7757, i.e., multiplier, filters, and digital-to-frequency converter. This pin should be tied to the digital ground plane of the PCB. The digital ground plane is the ground reference for all digital circuitry, e.g., counters (mechanical and digital), MCUs, and indicator LEDs. For accurate noise suppression, the analog ground plane should be connected to the digital ground plane at one point only, i.e., a star ground.
4	CF	Calibration Frequency Logic Output. The CF logic output provides instantaneous real power information. This output is intended for calibration purposes. Also see SCF pin description.
5, 16	F2, F1	Low Frequency Logic Outputs. F1 and F2 supply <i>average real power</i> information. The logic outputs can be used to directly drive electromechanical counters and 2-phase stepper motors. See the Transfer Function section.

7757—Typical Performance Characteristics

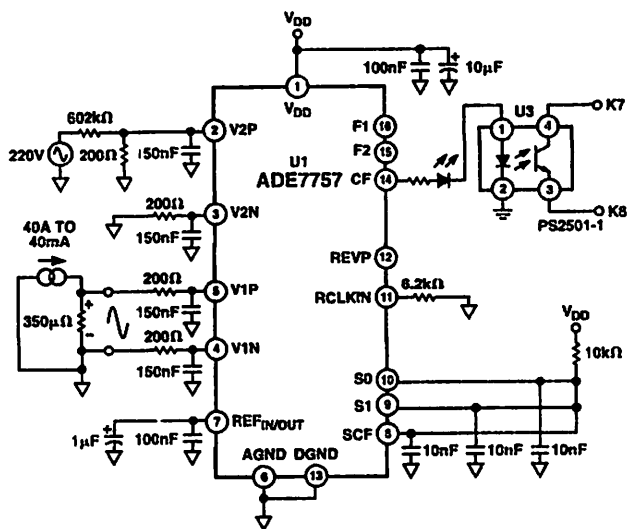
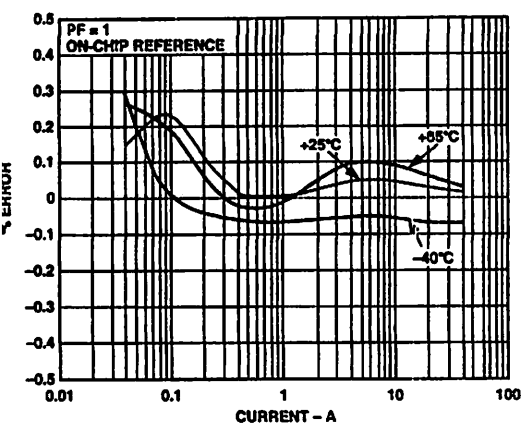
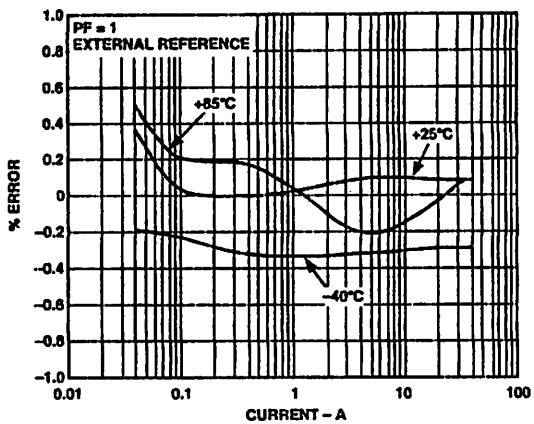


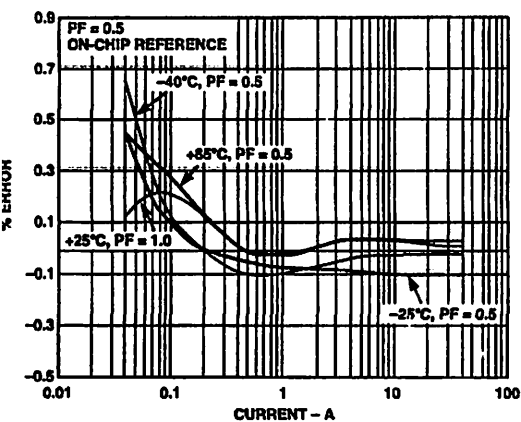
Figure 2. Test Circuit for Performance Curves



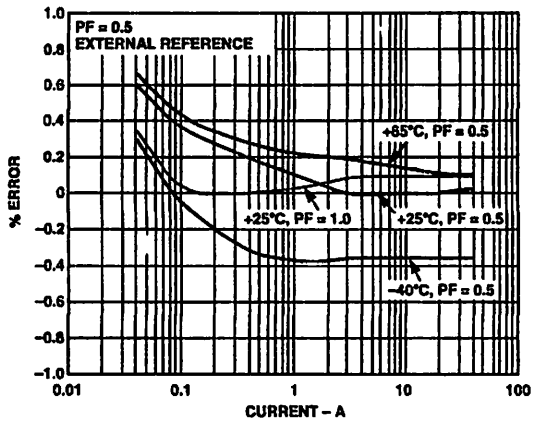
TPC 1. Error as a % of Reading over Temperature with On-Chip Reference (PF = 1)



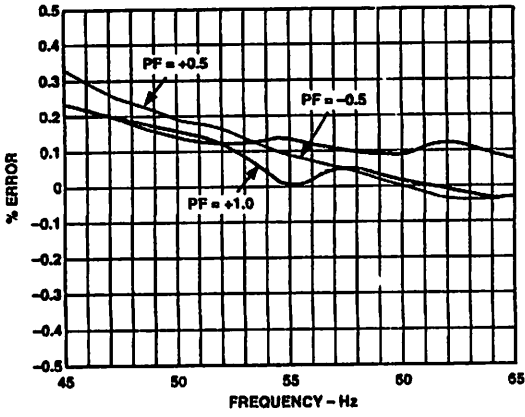
TPC 3. Error as a % of Reading over Temperature with External Reference (PF = 1)



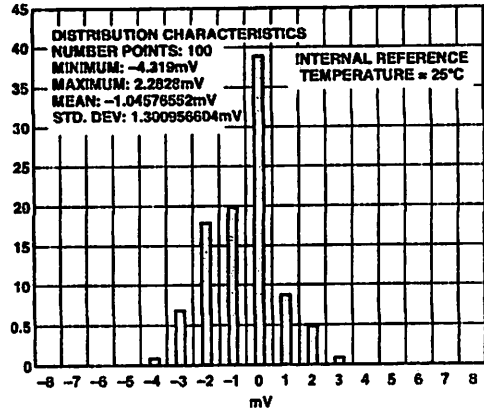
TPC 2. Error as a % of Reading over Temperature with On-Chip Reference (PF = 0.5)



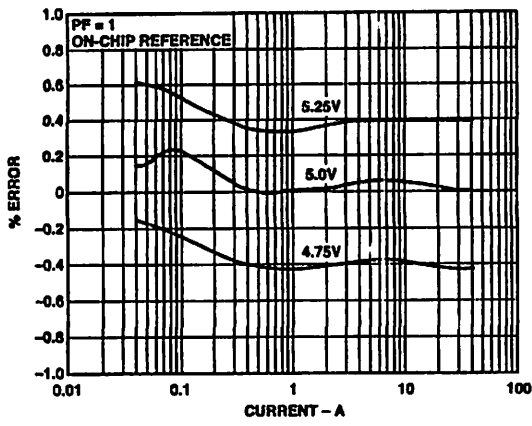
TPC 4. Error as a % of Reading over Temperature with External Reference (PF = 0.5)



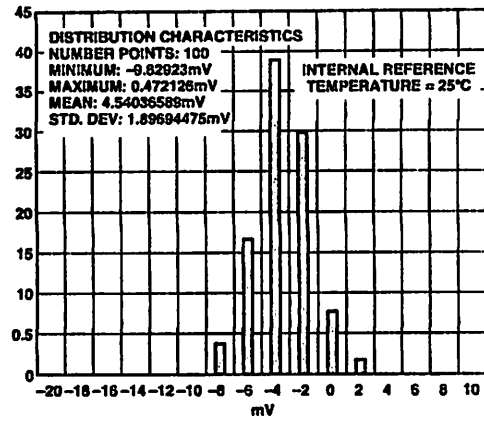
TPC 5. Error as a % of Reading over Input Frequency



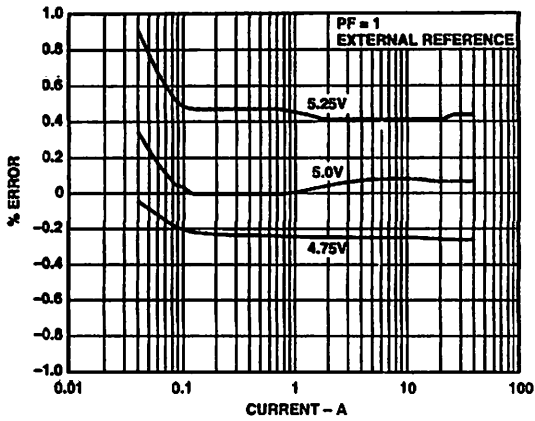
TPC 8. Channel V1 Offset Distribution



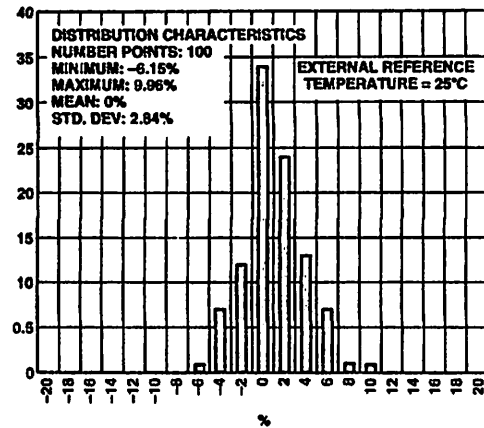
TPC 6. PSR with Internal Reference



TPC 9. Channel V2 Offset Distribution



TPC 7. PSR with External Reference



TPC 10. Part-to-Part CF Distribution from Mean

MODE OF OPERATION

Two ADCs digitize the voltage signals from the current voltage sensors. These ADCs are 16-bit Σ - Δ with an sampling rate of 450 kHz. This analog input structure simplifies sensor interfacing by providing a wide dynamic range for direct connection to the sensor and also simplifies the biasing filter design. A high-pass filter in the current channel removes any dc component from the current signal. This eliminates any inaccuracies in the real power calculation due to offsets in the voltage or current signals. Because the HPF is always enabled, the IC will operate only with ac input (see HPF Offset Effects section).

Real power calculation is derived from the instantaneous power signal. The instantaneous power signal is generated by a multiplication of the current and voltage signals. In order to extract the real power component (i.e., the dc component), the instantaneous power signal is low-pass filtered. Figure 3 illustrates the instantaneous real power signal and shows how real power information can be extracted by low-pass filtering the instantaneous power signal. This scheme correctly calculates real power for sinusoidal current and voltage waveforms at all power factors. All signal processing is carried out in the digital domain for superior stability over temperature and time.

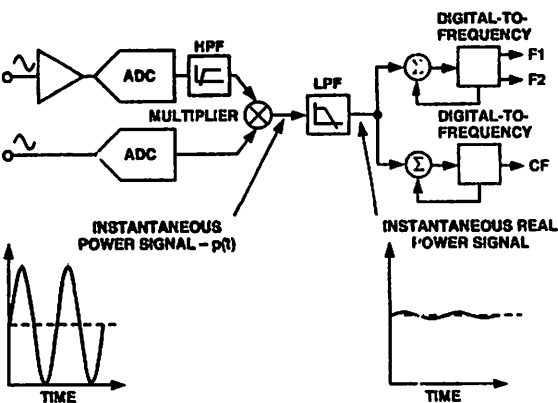


Figure 3. Signal Processing Block Diagram

The low frequency outputs (F1, F2) of the ADE7757 are generated by accumulating this real power information. This low frequency inherently means a long accumulation time between output pulses. Consequently, the resulting output frequency is proportional to the average real power. This average real power information is then accumulated (e.g., by a counter) to generate real energy information. Conversely, due to its high output frequency and hence shorter integration time, the CF output frequency is proportional to the instantaneous real power. This is useful for system calibration, which can be done faster under steady load conditions.

Power Factor Considerations

The method used to extract the real power information from the instantaneous power signal (i.e., by low-pass filtering) is still valid even when the voltage and current signals are not in phase. Figure 4 displays the unity power factor condition and a DPF (displacement power factor) = 0.5, i.e., current signal lagging the voltage by 60°. If we assume the voltage and current waveforms are sinusoidal, the real power component of the instantaneous power signal (i.e., the dc term) is given by

$$\left(\frac{V \times I}{2}\right) \times \cos(60^\circ)$$

This is the correct real power calculation.

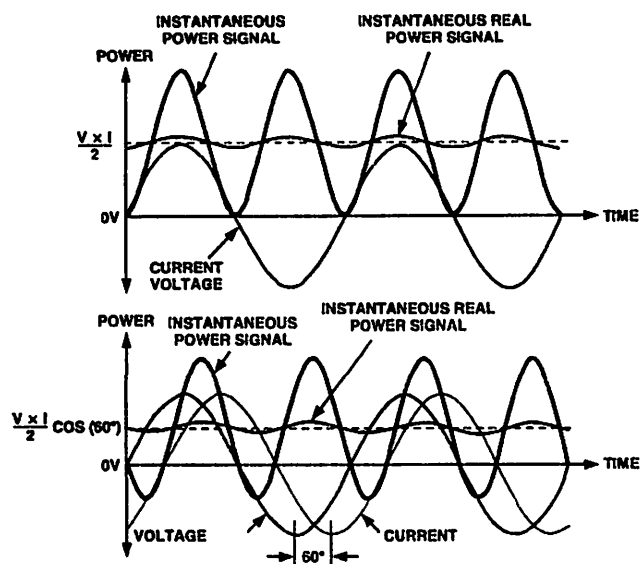


Figure 4. DC Component of Instantaneous Power Signal Conveys Real Power Information, PF < 1

Non-sinusoidal Voltage and Current

The real power calculation method also holds true for non-sinusoidal current and voltage waveforms. All voltage and current waveforms in practical applications will have some harmonic content. Using the Fourier Transform, instantaneous voltage and current waveforms can be expressed in terms of their harmonic content.

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \times \sum_{h \neq 0} V_h \times \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (1)$$

where:

- $v(t)$ is the instantaneous voltage.
- V_0 is the average value.
- V_h is the rms value of voltage harmonic h .
- α_h is the phase angle of the voltage harmonic.

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \times \sum_{h \neq 0} I_h \times \sin(h\omega t + \beta_h) \quad (2)$$

where:

- $i(t)$ is the instantaneous current.
- I_0 is the dc component.
- I_h is the rms value of current harmonic h .
- β_h is the phase angle of the current harmonic.

Using Equations 1 and 2, the real power P can be expressed in terms of its fundamental real power (P_1) and harmonic real power (P_H).

$$P = P_1 + P_H$$

where

$$P_1 = V_1 \times I_1 \cos \phi_1 \quad (3)$$

$$\phi_1 = \alpha_1 - \beta_1$$

and

$$\dot{P}_H = \sum_{h \neq 1} \dot{V}_h \times \dot{I}_h \cos \phi_h \quad (4)$$

$$\phi_h = \alpha_h - \beta_h$$

As can be seen from Equation 4, a harmonic real power component is generated for every harmonic, provided that harmonic is present in both the voltage and current waveforms. The power factor calculation has previously been shown to be accurate in the case of a pure sinusoid. Therefore, the harmonic real power must also correctly account for power factor since it is made up of a series of pure sinusoids.

Note that the input bandwidth of the analog inputs is 7 kHz at the nominal internal oscillator frequency of 450 kHz.

ANALOG INPUTS

Channel V1 (Current Channel)

The voltage output from the current sensor is connected to the ADE7757 here. Channel V1 is a fully differential voltage input. V1P is the positive input with respect to V1N.

The maximum peak differential signal on Channel V1 should be less than ± 30 mV (21 mV rms for a pure sinusoidal signal) for specified operation.

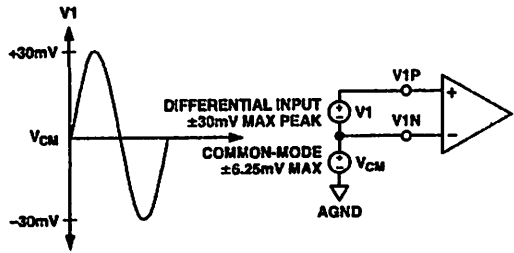


Figure 5. Maximum Signal Levels, Channel V1

The diagram in Figure 5 illustrates the maximum signal levels on V1P and V1N. The maximum differential voltage is ± 30 mV. The differential voltage signal on the inputs must be referenced to a common mode, e.g., AGND. The maximum common-mode signal is ± 6.25 mV, as shown in Figure 5.

Channel V2 (Voltage Channel)

The output of the line voltage sensor is connected to the ADE7757 at this analog input. Channel V2 is a fully differential voltage input with a maximum peak differential signal of ± 165 mV. Figure 6 illustrates the maximum signal levels that can be connected to the ADE7757 Channel V2.

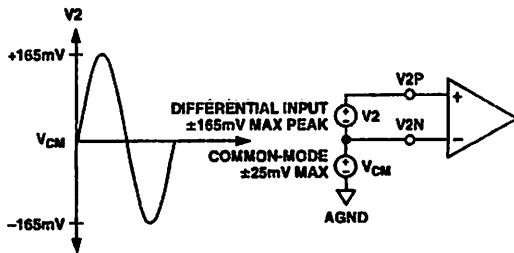


Figure 6. Maximum Signal Levels, Channel V2

Channel V2 is usually driven from a common-mode voltage, i.e., the differential voltage signal on the input is referenced to a common mode (usually AGND). The analog inputs of the ADE7757 can be driven with common-mode voltages of up to 25 mV with respect to AGND. However, best results are achieved using a common mode equal to AGND.

Typical Connection Diagrams

Figure 7 shows a typical connection diagram for Channel V1. The ADE7757 is biased around the phase wire, and a resistor is used to provide a voltage signal that is proportional to line voltage. Adjusting the ratio of R_A , R_B , and R_F is also a convenient way of carrying out a gain calibration on a meter.

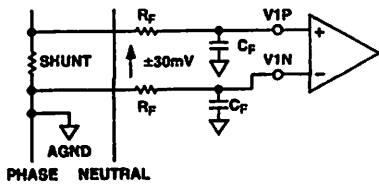


Figure 7. Typical Connection for Channel V1

Figure 8 shows a typical connection for Channel V2. Typically, the ADE7757 is biased around the phase wire, and a resistor divider is used to provide a voltage signal that is proportional to line voltage. Adjusting the ratio of R_A , R_B , and R_F is also a convenient way of carrying out a gain calibration on a meter.

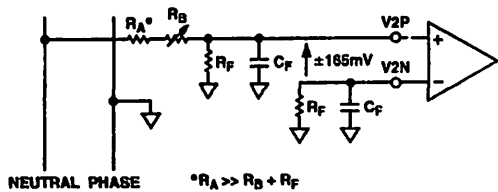


Figure 8. Typical Connections for Channel V2

ON-CHIP POWER SUPPLY MONITOR

The ADE7757 contains an on-chip power supply monitor. The power supply (V_{DD}) is continuously monitored by the ADE7757. If the supply is less than 4 V, the ADE7757 becomes inactive. It is useful to ensure proper device operation at power-up and power-down. The power supply monitor has built-in hysteresis and filtering that provide a high degree of immunity to false triggering from noisy supplies.

As can be seen from Figure 9, the trigger level is nominally set to 4 V. The tolerance on this trigger level is within $\pm 5\%$. The power supply and decoupling for the part should be such that the ripple at V_{DD} does not exceed $5 V \pm 5\%$ as specified for normal operation.

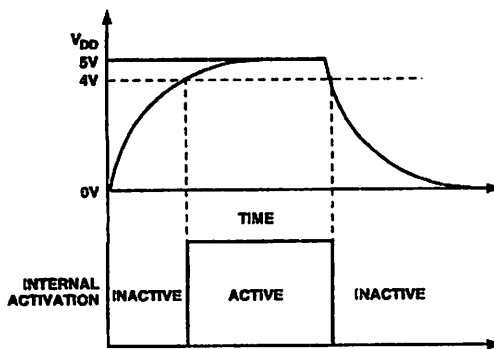


Figure 9. On-Chip Power Supply Monitor

HPF and Offset Effects

Figure 10 illustrates the effect of offsets on the real power calculation. As can be seen, offsets on Channel V1 and Channel V2 will contribute a dc component after multiplication. Since this dc component is extracted by the LPF and used to generate the real power information, the offsets will contribute a constant error to the real power calculation. This problem is easily avoided by the built-in HPF in Channel V1. By removing the offsets from at least one channel, no error component can be generated at dc by the multiplication. Error terms at the line frequency (ω) are removed by the LPF and the digital-to-frequency conversion (see Digital-to-Frequency Conversion section).

The equation below shows how the power calculation is affected by the dc offsets in the current and voltage channels.

$$\begin{aligned} & \{V \cos(\omega t) + V_{OS}\} \times \{I \cos(\omega t) + I_{OS}\} \\ &= \frac{V \times I}{2} + V_{OS} \times I_{OS} + V_{OS} \times I \cos(\omega t) + I_{OS} \times V \cos(\omega t) \\ &+ \frac{V \times I}{2} \times \cos(2\omega t) \end{aligned}$$

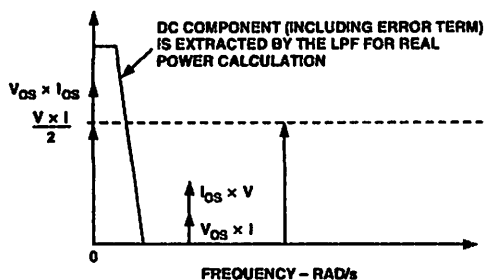


Figure 10. Effect of Channel Offset on the Real Power Calculation

The HPF in Channel V1 has an associated phase response that is compensated for on-chip. Figures 11 and 12 show the phase error between channels with the compensation network activated. The ADE7757 is phase compensated up to 1 kHz as shown. This will ensure correct active harmonic power calculation even at low power factors.

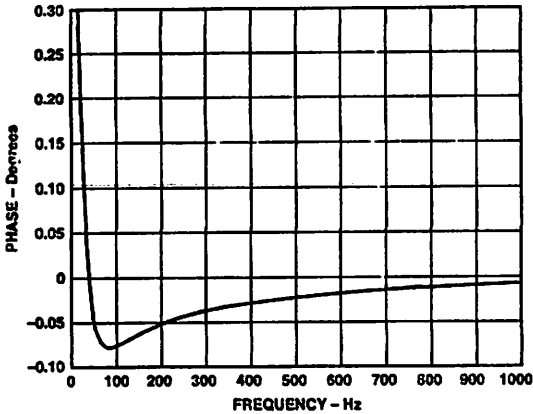


Figure 11. Phase Error between Channels (0 Hz to 1 kHz)

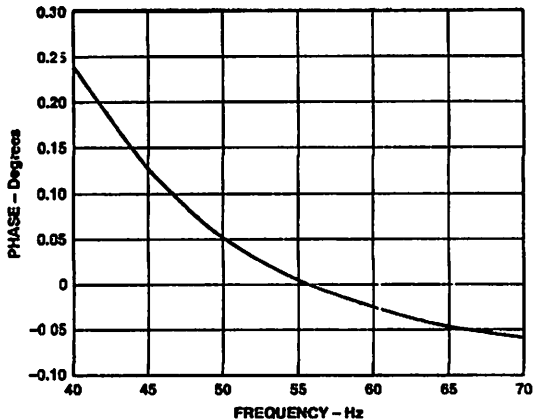


Figure 12. Phase Error between Channels (40 Hz to 70 Hz)

Digital-to-Frequency Conversion

As previously described, the digital output of the low-pass filter after multiplication contains the real power information. However, since this LPF is not an ideal “brick wall” filter implementation, the output signal also contains attenuated components at the line frequency and its harmonics, i.e., $\cos(h\omega t)$ where $h = 1, 2, 3, \dots$ and so on.

The magnitude response of the filter is given by

$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{f^2}{4.45^2}}} \tag{5}$$

For a line frequency of 50 Hz, this would give an attenuation of the 2ω (100 Hz) component of approximately 22 dB. The dominating harmonic will be at twice the line frequency (2ω) due to the instantaneous power calculation.

Figure 13 shows the instantaneous real power signal at the output of the LPF that still contains a significant amount of instantaneous power information, i.e., $\cos(2\omega t)$. This signal is then passed to the digital-to-frequency converter where it is integrated (accumulated) over time in order to produce an output frequency. The accumulation of the signal will suppress or average out any non-dc components in the instantaneous real power signal. The average value of a sinusoidal signal is zero. Thus, the frequency generated by the ADE7757 is proportional to the average real power. Figure 13 shows the digital-to-frequency conversion for steady load conditions, i.e., constant voltage and current.

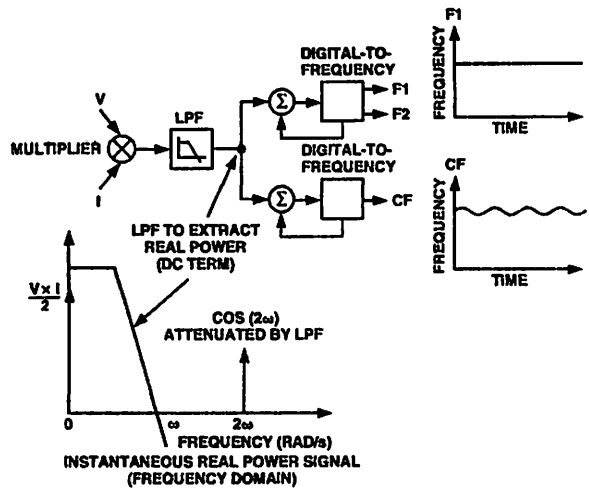


Figure 13. Real Power-to-Frequency Conversion

As can be seen in the diagram, the frequency output CF is seen to vary over time, even under steady load conditions. This frequency variation is primarily due to the $\cos(2\omega t)$ component in the instantaneous real power signal. The output frequency on CF can be up to 2048 times higher than the frequency on F1 and F2. This higher output frequency is generated by accumulating the instantaneous real power signal over a much shorter time while converting it to a frequency. This shorter accumulation period means less averaging of the $\cos(2\omega t)$ component. Consequently, some of this instantaneous power signal passes through the digital-to-frequency conversion. This will not be a problem in the application. Where CF is used for calibration purposes, the frequency should be averaged by the frequency counter, which will remove any ripple. If CF is being used to measure energy, for example in a microprocessor based application, the CF output should also be averaged to calculate power.

Because the outputs F1 and F2 operate at a much lower frequency, a lot more averaging of the instantaneous real power signal is carried out. The result is a greatly attenuated sinusoidal content and a virtually ripple-free frequency output.

Interfacing the ADE7757 to a Microcontroller for Energy Measurement

The easiest way to interface the ADE7757 to a microcontroller is to connect the CF high frequency output with the output frequency of the MCU. This is done by setting SCF = 0, S0 = S1 = 1 (see Table III). With full-scale ac signals on the analog inputs, the output frequency on CF will be approximately 2.867 kHz. Figure 14 illustrates one scheme that could be used to digitize the output frequency and carry out the necessary averaging mentioned in the previous section.

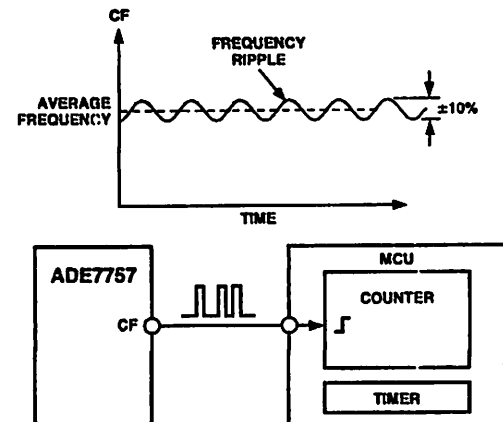


Figure 14. Interfacing the ADE7757 to an MCU

When the frequency output CF is connected to an MCU timer or port. This will count the number of pulses in a given integration time, which is determined by an MCU internal timer. The average power proportional to the average frequency is given by

$$\text{Average Frequency} = \text{Average Power} = \frac{\text{Counter}}{\text{Time}}$$

The energy consumed during an integration period is given by

$$\text{Energy} = \text{Average Power} \times \text{Time} = \frac{\text{Counter}}{\text{Time}} \times \text{Time} = \text{Counter}$$

For the purpose of calibration, this integration time could be reduced to 20 seconds in order to accumulate enough pulses to get the correct averaging of the frequency. In normal operation, the integration time could be reduced to one or two seconds. Depending, for example, on the required update rate of a display. With shorter integration times on the MCU, the amount of energy in each update may still have some small amount of ripple, even under steady load conditions. However, over a minute or more the measured energy will have no ripple.

Measurement Considerations

Calibrating and displaying power information will always have an associated ripple that will depend on the integration period used in the MCU to determine average power and also on the MCU. For example, at light loads, the output frequency may be low. With an integration period of two seconds, only about 5 pulses will be counted. The possibility of missing one pulse exists as the ADE7757 output frequency is running asynchronously to the MCU timer. This would result in a one-percent or 5% error in the power measurement.

INTERNAL OSCILLATOR (OSC)

The nominal internal oscillator frequency is 450 kHz when used with RCLKIN with a nominal value of 6.2 kΩ. The frequency outputs are directly proportional to the oscillator frequency, thus RCLKIN must have low tolerance and low temperature drift to ensure stability and linearity of the chip. The oscillator frequency is inversely proportional to the RCLKIN as shown in Figure 15. Although the internal oscillator operates when used with RCLKIN values between 5.5 kΩ and 20 kΩ, choosing a value within the range of the nominal value, as shown in Figure 15, is recommended.

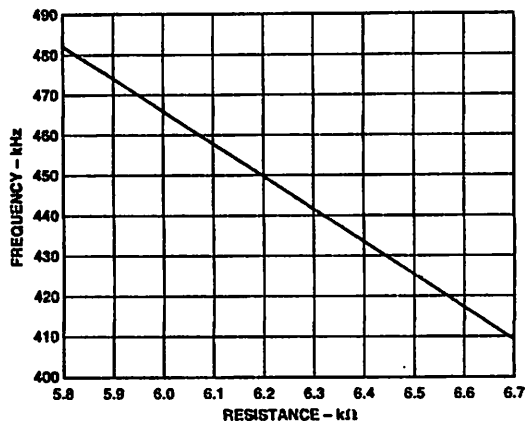


Figure 15. Effect of RCLKIN on Internal Oscillator Frequency (OSC)

TRANSFER FUNCTION

Frequency Outputs F1 and F2

The ADE7757 calculates the product of two voltage signals (on Channel V1 and Channel V2) and then low-pass filters this product to extract real power information. This real power information is then converted to a frequency. The frequency information is output on F1 and F2 in the form of active low pulses. The pulse rate at these outputs is relatively low, e.g., 0.175 Hz maximum for ac signals with S0 = S1 = 0 (see Table II). This means that the frequency at these outputs is generated from real power information accumulated over a relatively long period of time. The result is an output frequency that is proportional to the average real power. The averaging of the real power signal is implicit to the digital-to-frequency conversion. The output frequency or pulse rate is related to the input voltage signals by the following equation

$$\text{Freq} = \frac{515.84 \times V1_{rms} \times V2_{rms} \times F_{1-4}}{V_{REF}^2}$$

where

Freq = Output frequency on F1 and F2 (Hz).

V1_{rms} = Differential rms voltage signal on Channel V1 (V).

V2_{rms} = Differential rms voltage signal on Channel V2 (V).

V_{REF} = The reference voltage (2.5 V ± 8%) (V).

F₁₋₄ = One of four possible frequencies selected by using the logic inputs S0 and S1—see Table I.

Table I. F₁₋₄ Frequency Selection

SCF	S0	OSC Relation ¹	F ₁₋₄ at Nominal OSC (Hz) ²
0	0	OSC/2 ₁₉	0.86
0	1	OSC/2 ₁₈	1.72
1	0	OSC/2 ₁₇	3.44
1	1	OSC/2 ₁₆	6.86

NOTES
 F₁₋₄ is a binary fraction of the internal oscillator frequency (OSC).
 Values are generated using the nominal frequency of 450 kHz.

Example
 In this example, with ac voltages of ±30 mV peak applied to V1 and ±165 mV peak applied to V2, the expected output frequency is calculated as follows:

$$F_{1-4} = OSC/2^{19} \text{ Hz}, S0 = S1 = 0$$

$$V_{1,rms} = 0.03/\sqrt{2} \text{ V}$$

$$V_{2,rms} = 0.165/\sqrt{2} \text{ V}$$

$$V_{REF} = 2.5 \text{ V (nominal reference value)}$$

NOTE: If the on-chip reference is used, actual output frequencies may vary from device to device due to reference tolerance of ±8%.

$$Freq = \frac{515.85 \times 0.03 \times 0.165 \times F_1}{\sqrt{2} \times \sqrt{2} \times 2.5^2} = 0.204 \times F_1 = 0.175$$

Table II. Maximum Output Frequency on F1 and F2

SCF	S0	OSC Relation	Max Frequency* for AC Inputs (Hz)
0	0	0.204 × F ₁	0.175
0	1	0.204 × F ₂	0.35
1	0	0.204 × F ₃	0.70
1	1	0.204 × F ₄	1.40

*Values are generated using the nominal frequency of 450 kHz

Frequency Output CF

The pulse output CF (calibration frequency) is intended for calibration purposes. The output pulse rate on CF can be up to 2048 times the pulse rate on F1 and F2. The lower the F₁₋₄ frequency selected, the higher the CF scaling (except for the high frequency mode SCF = 0, S1 = S0 = 1). Table III shows how the two frequencies are related, depending on the states of the logic inputs S0, S1, and SCF. Due to its relatively high pulse rate, the frequency at CF logic output is proportional to the instantaneous real power. As with F1 and F2, CF is derived from the output of the low-pass filter after multiplication. However, because the output frequency is high, this real power information is accumulated over a much shorter time. Therefore, less averaging is carried out in the digital-to-frequency conversion. With much less averaging of the real power signal, the CF output is much more responsive to power fluctuations (see the Signal Processing Block in Figure 3).

Table III. Maximum Output Frequency on CF

SCF	S1	S0	CF Max for AC Signals (Hz)*
1	0	0	128 × F1, F2 = 22.4
0	0	0	64 × F1, F2 = 11.2
1	0	1	64 × F1, F2 = 22.4
0	0	1	32 × F1, F2 = 11.2
1	1	0	32 × F1, F2 = 22.4
0	1	0	16 × F1, F2 = 11.2
1	1	1	16 × F1, F2 = 22.4
0	1	1	2048 × F1, F2 = 2.867 kHz

*Values are generated using the nominal frequency of 450 kHz.

SELECTING A FREQUENCY FOR AN ENERGY METER APPLICATION

As shown in Table I, the user can select one of four frequencies. This frequency selection determines the maximum frequency on F1 and F2. These outputs are intended for driving an energy register (electromechanical or others). Since only four different output frequencies can be selected, the available frequency selection has been optimized for a meter constant of 100 imp/kWh with a maximum current of between 10 A and 120 A. Table IV shows the output frequency for several maximum currents (I_{MAX}) with a line voltage of 220 V. In all cases, the meter constant is 100 imp/kWh.

Table IV. F1 and F2 Frequency at 100 imp/kWh

I _{MAX} (A)	F1 and F2 (Hz)
12.5	0.076
25.0	0.153
40.0	0.244
60.0	0.367
80.0	0.489
120.0	0.733

The F₁₋₄ frequencies allow complete coverage of this range of output frequencies (F1, F2). When designing an energy meter, the nominal design voltage on Channel V2 (voltage) should be set to half-scale to allow for calibration of the meter constant. The current channel should also be no more than half-scale when the meter sees maximum load. This will allow overcurrent signals and signals with high crest factors to be accommodated. Table V shows the output frequency on F1 and F2 when both analog inputs are half-scale. The frequencies listed in Table V align very well with those listed in Table IV for maximum load.

Table V. F1 and F2 Frequency with Half-Scale AC Inputs

30	F ₁₋₄ (Hz)*	Frequency on F1 and F2— CH1 and CH2 Half-Scale AC Input*	
0	0.86	0.051 × F ₁	0.044 Hz
1	1.72	0.051 × F ₂	0.088 Hz
0	3.44	0.051 × F ₃	0.176 Hz
1	6.86	0.051 × F ₄	0.352 Hz

* Frequencies are generated using the nominal frequency of 450 kHz.

When selecting a suitable F₁₋₄ frequency for a meter design, the frequency output at I_{MAX} (maximum load) with a meter constant of 100 imp/kWh should be compared with column four of Table V. The closest frequency in Table V will determine the choice of frequency (F₁₋₄). For example, if a meter with a maximum current of 25 A is being designed, the output frequency on F1 and F2 with a meter constant of 100 imp/kWh is 0.176 Hz at 25 A and 220 V (from Table IV). Looking at Table V, the closest frequency to 0.153 Hz in column four is 0.176 Hz. Therefore, F3 (3.44 Hz—see Table I) is selected for this design.

Frequency Outputs

Figure 1 shows a timing diagram for the various frequency outputs. The outputs F1 and F2 are the low frequency outputs that can be used to directly drive a stepper motor or electromechanical pulse counter. The F1 and F2 outputs provide two alternating low frequency pulses. The F1 and F2 pulse widths (t₁) are set such that if they fall below 1062 ms (0.942 Hz) they are no more than half of their period. The maximum output frequencies for F1 and F2 are shown in Table II.

The high frequency CF output is intended to be used for communications and calibration purposes. CF produces a 173 ms wide high pulse (t₄) at a frequency proportional to active power. CF output frequencies are given in Table III. As in the case with F1 and F2, if the period of CF (t₂) falls below 346 ms, the

CF pulse width is set to half the period. For example, if the CF frequency is 20 Hz, the CF pulse width is 25 ms.

NOTE: When the high frequency mode is selected (i.e., SCF = 0, S1 = S0 = 1), the CF pulse width is fixed at 35 μs. Therefore, t₄ will always be 35 μs, regardless of output frequency on CF.

NO LOAD THRESHOLD

The ADE7757 also includes a no-load threshold and start-up current feature that will eliminate any creep effects in the meter. The ADE7757 is designed to issue a minimum output frequency. Any load generating a frequency lower than this minimum frequency will not cause a pulse to be issued on F1, F2, or CF. The minimum output frequency is given as 0.0014% for each of the F₁₋₄ frequency selections (see Table I). For example, for an energy meter with a meter constant of 100 imp/kWh on F1, F2 using F₃ (3.44 Hz), the minimum output frequency at F1 or F2 would be 0.0014% of 3.44 Hz or 4.81 × 10⁻⁵ Hz. This would be 3.08 × 10⁻³ Hz at CF (64 × F1 Hz) when SCF = S0 = 1, S1 = 0. In this example, the no-load threshold would be equivalent to 1.7 W of load or a start-up current of 8 mA at 220 V. Compare this value to the IEC 1036 specification which states that the meter must start up with a load equal to or less than 0.4% I_b. For a 5 A (I_b) meter, 0.4% of I_b is equivalent to 20 mA.

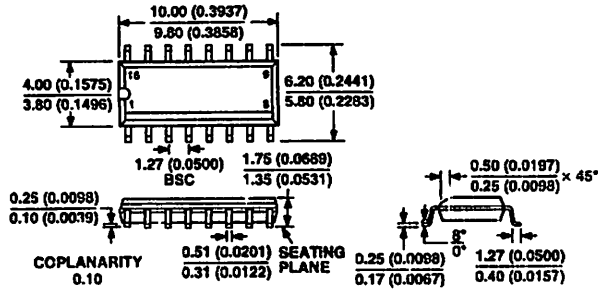
Negative Power Information

The ADE7757 detects when the current and voltage channels have a phase shift greater than 90°. This mechanism can detect wrong connection of the meter or generation of negative power. The REVP pin output will go active high when negative power is detected and active low if positive power is detected. The REVP pin output changes state as a pulse is issued on CF. The REVP pin is not functional in the current version and will only work in the A version (ADE7757A).

OUTLINE DIMENSIONS

**16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC]
Narrow Body
(RN-16)**

Dimensions shown in millimeters and (inches)



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-012AC
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS
(IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR
REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

7757

Revision History

Revision	Page
-Data Sheet changed from REV. 0 to REV. A.	
Changes to FEATURES	1
Changes to GENERAL DESCRIPTION	1
Changes to ORDERING GUIDE	4
Changes to Typical Connection Diagrams section	10
Added OUTLINE DIMENSIONS	15

C02898-0-10/03(A)

Features

High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
C Architecture
130 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
32 x 8 General Purpose Working Registers
Fully Static Operation
Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
On-chip 2-cycle Multiplier
Volatile Program and Data Memories
8K Bytes of In-System Self-programmable Flash
Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
Optional Boot Code Section with Independent Lock bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
512 Bytes EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
512 Bytes Internal SRAM
Up to 64K Bytes Optional External Memory Space
Programming Lock for Software Security
Peripheral Features
One 8-bit Timer/Counter with Separate Prescaler and Compare Mode
One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
Three PWM Channels
Programmable Serial USART
Master/Slave SPI Serial Interface
Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
On-chip Analog Comparator
Special Microcontroller Features
Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
Internal Calibrated RC Oscillator
External and Internal Interrupt Sources
Three Sleep Modes: Idle, Power-down and Standby
Pins and Packages
35 Programmable I/O Lines
40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad QFN/MLF
Operating Voltages
2.7 - 5.5V for ATmega8515L
4.5 - 5.5V for ATmega8515
Operating Temperature Ranges
0 - 8 MHz for ATmega8515L
0 - 16 MHz for ATmega8515



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega8515
ATmega8515L

Summary

2512JS-AVR-10/06

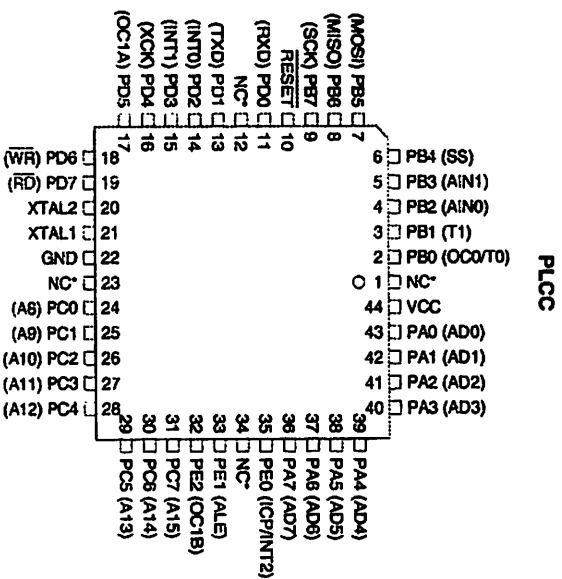
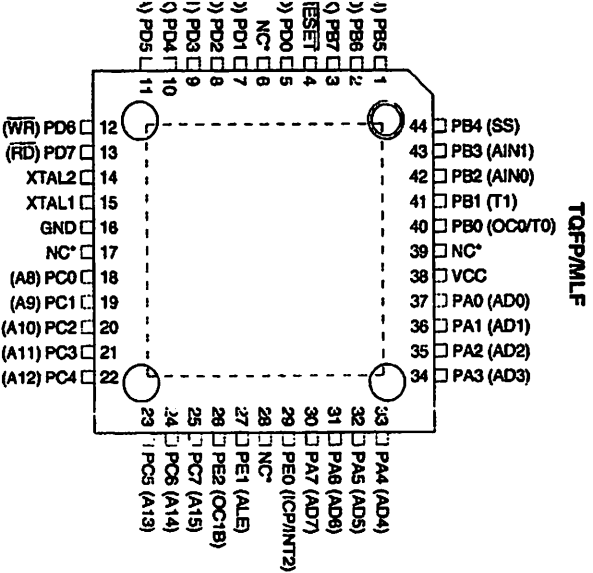
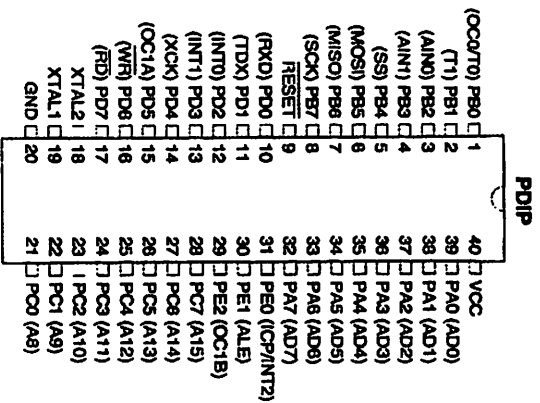


Note: This is a summary document. A complete document is available on our Web site at www.atmel.com.



Configurations

a 1. Pinout ATmega8515



NOTES:

1. MLF bottom pad should be soldered to ground.
2. * NC = Do not connect (May be used in future devices)

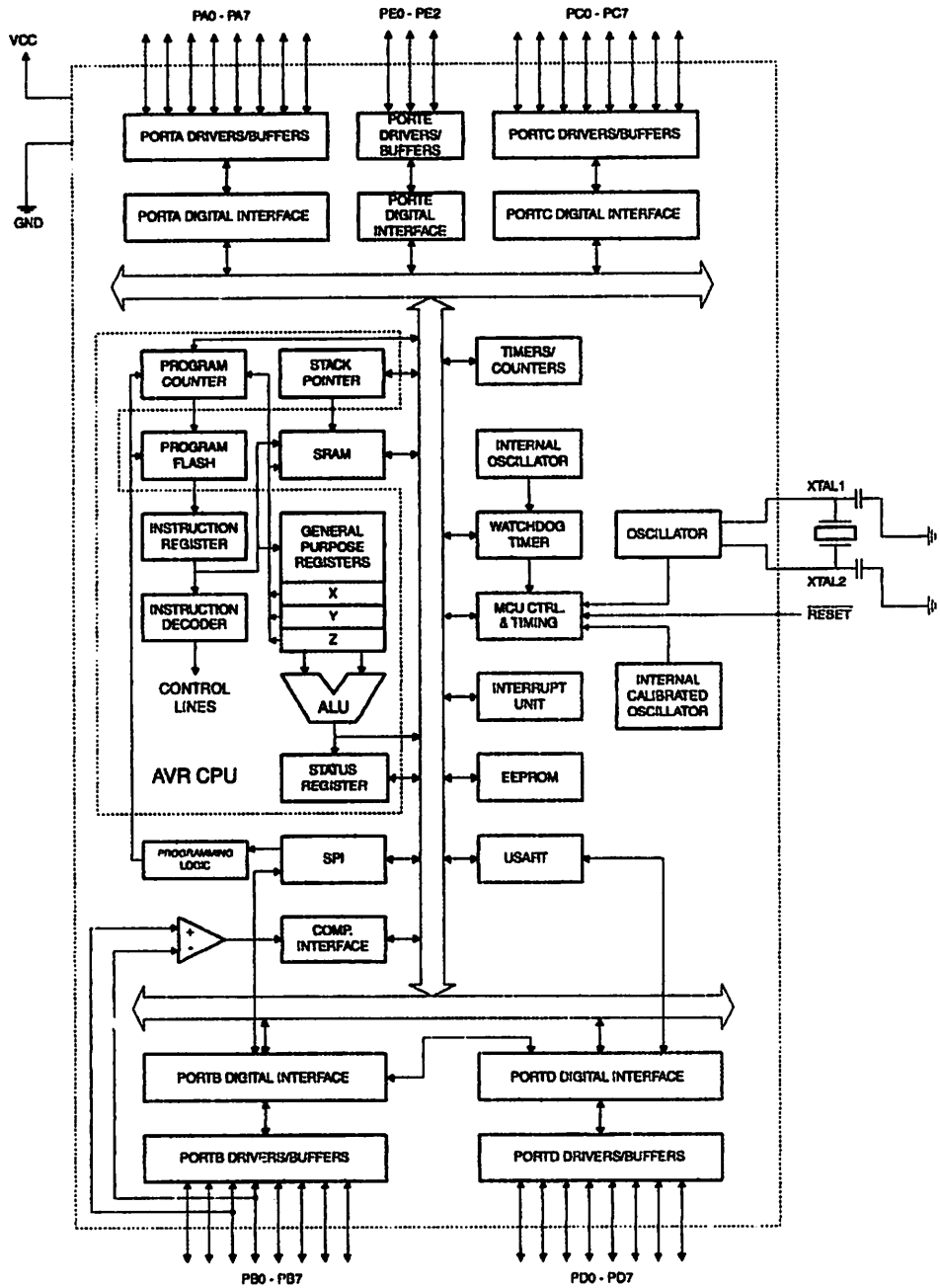
ATmega8515(L)

Overview

The ATmega8515 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega8515 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega8515 provides the following features: 8K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 512 bytes SRAM, an External memory interface, 35 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, two flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External interrupts, a Serial Programmable USART, a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, a SPI serial port, and three software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI port, and Interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the Register contents out freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the Program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega8515 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega8515 is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro assemblers, Program debugger/simulators, In-circuit Emulators, and Evaluation kits.

Disclaimer

Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

AT90S4414/8515 and ATmega8515 Compatibility

The ATmega8515 provides all the features of the AT90S4414/8515. In addition, several new features are added. The ATmega8515 is backward compatible with AT90S4414/8515 in most cases. However, some incompatibilities between the two microcontrollers exist. To solve this problem, an AT90S4414/8515 compatibility mode can be selected by programming the S8515C Fuse. ATmega8515 is 100% pin compatible with AT90S4414/8515, and can replace the AT90S4414/8515 on current printed circuit boards. However, the location of Fuse bits and the electrical characteristics differs between the two devices.

AT90S4414/8515 Compatibility

Programming the S8515C Fuse will change the following functionality:

- The timed sequence for changing the Watchdog Time-out period is disabled. See "Timed Sequences for Changing the Configuration of the Watchdog Timer" on page 53 for details.
- The double buffering of the USART Receive Registers is disabled. See "AVR USART vs. AVR UART – Compatibility" on page 137 for details.
- PORTE(2:1) will be set as output, and PORTE0 will be set as input.

ATmega8515(L)

Descriptions

Digital supply voltage.

Ground.

(PA7..PA0)

Port A is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port A also serves the functions of various special features of the ATmega8515 as listed on page 67.

(PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega8515 as listed on page 67.

(PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

(PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega8515 as listed on page 72.

(PE2..PE0)

Port E is an 3-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port E output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port E pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port E pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port E also serves the functions of various special features of the ATmega8515 as listed on page 74.

\bar{RST}

Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 18 on page 46. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

2

Output from the inverting Oscillator amplifier.





urces

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.

ATmega8515(L)

2512JS-AVR-10/06

Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C Compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C Compiler documentation for more details.



Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0F7	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	10
0FE	SPH	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	12
0FD	SPL	SP7	SP8	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	12
0FC	Reserved									
0FB	GUCR	INT1	INT0	INT2				IVSEL	IVCE	57, 78
0FA	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2						79
0F9	TIMSK	TOIE1	OCIE1A	OCIE1B		TCIE1		TOIE0	OCIE0	83, 124
0F8	TIFR	TOVF1	OCF1A	OCF1B		ICF1		TOVF0	OCF0	83, 125
0F7	SPMCR	SPMIE	RWW6B		RWW5RE	BLESET	PGWRT	PGERS	SPMEN	170
0F6	EMUCSR	SM0	SRL2	SRL1	SRL0	SRWD1	SRWD0	SRW11	ISC2	28, 42, 78
0F5	MCLR	SRE	SE	SE	BM1	ISC10	ISC10	ISC01	ISC00	28, 41, 77
0F4	MUCSR			SM2		WDRF	BCRF	EXTRF	PORF	41, 48
0F3	TCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	81
0F2	TCNT0									83
0F1	OCR0									83
0F0	SFDR		XMBK	XMM2	XMM1	XMM0	PLD		PSR10	31, 88, 98
0EF	TCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	119
0EE	TCR1B	ICNC1	ICEB1		WGM13	WGM12	CB12	CS11	CS10	122
0ED	TCNT1H									123
0EC	TCNT1L									123
0EB	OCR1AH									123
0EA	OCR1AL									123
0E9	OCR1BH									123
0E8	OCR1BL									123
0E7	Reserved									
0E6	Reserved									
0E5	ICR1H									124
0E4	ICR1L									124
0E3	Reserved									
0E2	Reserved									
0E1	WDTCR				WDCE	WDE	WDIF2	WDIF1	WDIF0	51
0E0	UBRRH	URSEL								159
0DF	UCSRB	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCS21	UCS20	UCPOL	157
0DE	EEARH								EEAR8	19
0DD	EEARL									19
0DC	EEDR									20
0DB	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	EEWE	20
0DA	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	PORTA0	75
0D9	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	DDA0	75
0D8	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PINAO	75
0D7	DDRB	DRB7	DRB6	DRB5	DRB4	DRB3	DRB2	DRB1	PORTB0	75
0D6	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	DRB0	75
0D5	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PINB0	75
0D4	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	PORTC0	75
0D3	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	DDC0	75
0D2	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	DDC0	76
0D1	DDRD	DRD7	DRD6	DRD5	DRD4	DRD3	DRD2	DRD1	PORTD0	76
0D0	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	DDD0	76
0CF	SPDR								PIND0	76
0CE	SF-SR	SPIF	WCOL							133
0CD	SP-CR	SPIE	SPE	DORID	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPI2X	133
0CC	UDR								SPR0	131
0CB	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X		155
0CA	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCS2Z	RXB8	MPCM	155
0C9	UBRRL								TXB8	158
0C8	ACSR	ACD	ACR3	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1		159
0C7	PORTE						PORTE2	PORTE1	ACIS0	184
0C6	DDRE						DOE2	DOE1	PORTED	76
0C5	PINE						PINE2	PINE1	DOE0	76
0C4	OSCCAL								PINED	76

1. Refer to the USART description for details on how to access UBRRH and UCSRC.

2. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.

ATmega8515(L)

3. Some of the Status Flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O Register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers \$00 to \$1F only.



Instruction Set Summary

OpCode	Operands	Description	Operation	Flags	#Cycles
ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS					
	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z,C,N,V,H	1
	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z,C,N,V,H	1
	Rd,K	Add Immediate to Word	$Rd \leftarrow Rd + K$	Z,C,N,V,S	2
	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z,C,N,V,H	1
	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z,C,N,V,H	1
	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z,C,N,V,H	1
	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z,C,N,V,H	1
	Rd,K	Subtract Immediate from Word	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z,C,N,V,S	2
	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \wedge Rr$	Z,N,V	1
	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \wedge K$	Z,N,V	1
	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z,N,V	1
	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z,N,V	1
	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow \text{SFF} - Rd$	Z,C,N,V	1
	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow \$00 - Rd$	Z,C,N,V,H	1
	Rd,K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \wedge (\text{SFF} - K)$	Z,N,V	1
	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z,N,V	1
	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z,N,V	1
	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z,N,V	1
	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z,N,V	1
	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow \text{SFF}$	None	1
	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
BRANCH INSTRUCTIONS					
	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
		Subroutine Return	$PC \leftarrow \text{STACK}$	None	4
		Interrupt Return	$PC \leftarrow \text{STACK}$	I	4
	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	$\text{if } (Rd = Rr) \text{ PC} \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
	Rd,Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N,V,C,H	1
	Rd,Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N,V,C,H	1
	Rd,K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N,V,C,H	1
	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	$\text{if } (Rr(b)=0) \text{ PC} \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	$\text{if } (Rr(b)=1) \text{ PC} \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	$\text{if } (P(b)=0) \text{ PC} \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	$\text{if } (P(b)=1) \text{ PC} \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
	s, k	Branch if Status Flag Set	$\text{if } (\text{SREG}(s) = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	s, k	Branch if Status Flag Cleared	$\text{if } (\text{SREG}(s) = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Equal	$\text{if } (Z = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Not Equal	$\text{if } (Z = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Carry Set	$\text{if } (C = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Carry Cleared	$\text{if } (C = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Same or Higher	$\text{if } (C = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Lower	$\text{if } (C = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Minus	$\text{if } (N = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Plus	$\text{if } (N = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Greater or Equal, Signed	$\text{if } (N \oplus V = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Less Than Zero, Signed	$\text{if } (N \oplus V = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Half Carry Flag Set	$\text{if } (H = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	$\text{if } (H = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if T Flag Set	$\text{if } (T = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if T Flag Cleared	$\text{if } (T = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Overflow Flag is Set	$\text{if } (V = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	$\text{if } (V = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Interrupt Enabled	$\text{if } (I = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
	k	Branch if Interrupt Disabled	$\text{if } (I = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2

Operands	Operands	Description	Operator	Flags	#Clocks
TRANSFER INSTRUCTIONS					
	Rd, Rr	Move Between Registers	$Rd \leftarrow Rr$	None	1
	Rd, Rr	Copy Register Word	$Rd+1:Rd \leftarrow Rr+1:Rr$	None	1
	Rd, K	Load Immediate	$Rd \leftarrow K$	None	1
	Rd, X	Load Indirect	$Rd \leftarrow (X)$	None	2
	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (X), X \leftarrow X + 1$	None	2
	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec.	$X \leftarrow X - 1, Rd \leftarrow (X)$	None	2
	Rd, Y	Load Indirect	$Rd \leftarrow (Y)$	None	2
	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (Y), Y \leftarrow Y + 1$	None	2
	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec.	$Y \leftarrow Y - 1, Rd \leftarrow (Y)$	None	2
	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	$Rd \leftarrow (Y + q)$	None	2
	Rd, Z	Load Indirect	$Rd \leftarrow (Z)$	None	2
	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	None	2
	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	$Z \leftarrow Z - 1, Rd \leftarrow (Z)$	None	2
	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	$Rd \leftarrow (Z + q)$	None	2
	Rd, k	Load Direct from SRAM	$Rd \leftarrow (k)$	None	2
	X, Rr	Store Indirect	$(X) \leftarrow Rr$	None	2
	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	$(X) \leftarrow Rr, X \leftarrow X + 1$	None	2
	-X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	$X \leftarrow X - 1, (X) \leftarrow Rr$	None	2
	Y, Rr	Store Indirect	$(Y) \leftarrow Rr$	None	2
	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	$(Y) \leftarrow Rr, Y \leftarrow Y + 1$	None	2
	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	$Y \leftarrow Y - 1, (Y) \leftarrow Rr$	None	2
	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$(Y + q) \leftarrow Rr$	None	2
	Z, Rr	Store Indirect	$(Z) \leftarrow Rr$	None	2
	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	$(Z) \leftarrow Rr, Z \leftarrow Z + 1$	None	2
	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	$Z \leftarrow Z - 1, (Z) \leftarrow Rr$	None	2
	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$(Z + q) \leftarrow Rr$	None	2
	k, Rr	Store Direct to SRAM	$(k) \leftarrow Rr$	None	2
		Load Program memory	$R0 \leftarrow (Z)$	None	3
	Rd, Z	Load Program memory	$Rd \leftarrow (Z)$	None	3
	Rd, Z+	Load Program memory and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	None	3
		Store Program memory	$(Z) \leftarrow R1:R0$	None	-
	Rd, P	In Port	$Rd \leftarrow P$	None	1
	P, Rr	Out Port	$P \leftarrow Rr$	None	1
	Rr	Push Register on Stack	$STACK \leftarrow Rr$	None	2
	Rd	Pop Register from Stack	$Rd \leftarrow STACK$	None	2
BIT-TEST INSTRUCTIONS					
	P,b	Set Bit in I/O Register	$I/O(P,b) \leftarrow 1$	None	2
	P,b	Clear Bit in I/O Register	$I/O(P,b) \leftarrow 0$	None	2
	Rd	Logical Shift Left	$Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), Rd(0) \leftarrow 0$	Z,C,N,V	1
	Rd	Logical Shift Right	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), Rd(7) \leftarrow 0$	Z,C,N,V	1
	Rd	Rotate Left Through Carry	$Rd(0) \leftarrow C, Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), C \leftarrow Rd(7)$	Z,C,N,V	1
	Rd	Rotate Right Through Carry	$Rd(7) \leftarrow C, Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), C \leftarrow Rd(0)$	Z,C,N,V	1
	Rd	Arithmetic Shift Right	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), n=0..6$	Z,C,N,V	1
	Rd	Swap Nibbles	$Rd(3..0) \leftrightarrow Rd(7..4), Rd(7..4) \leftrightarrow Rd(3..0)$	None	1
	s	Flag Set	$SREG(s) \leftarrow 1$	SREG(s)	1
	s	Flag Clear	$SREG(s) \leftarrow 0$	SREG(s)	1
	Rr, b	Bit Store from Register to T	$T \leftarrow Rr(b)$	T	1
	Rd, b	Bit Load from T to Register	$Rd(b) \leftarrow T$	None	1
		Set Carry	$C \leftarrow 1$	C	1
		Clear Carry	$C \leftarrow 0$	C	1
		Set Negative Flag	$N \leftarrow 1$	N	1
		Clear Negative Flag	$N \leftarrow 0$	N	1
		Set Zero Flag	$Z \leftarrow 1$	Z	1
		Clear Zero Flag	$Z \leftarrow 0$	Z	1
		Global Interrupt Enable	$I \leftarrow 1$	I	1
		Global Interrupt Disable	$I \leftarrow 0$	I	1
		Set Signed Test Flag	$S \leftarrow 1$	S	1
		Clear Signed Test Flag	$S \leftarrow 0$	S	1
		Set Two's Complement Overflow	$V \leftarrow 1$	V	1
		Clear Two's Complement Overflow	$V \leftarrow 0$	V	1
		Set T in SREG	$T \leftarrow 1$	T	1
		Clear T in SREG	$T \leftarrow 0$	T	1
		Set Half Carry Flag in SREG	$H \leftarrow 1$	H	1
		Clear Half Carry Flag in SREG	$H \leftarrow 0$	H	1
CONTROL INSTRUCTIONS					





onics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
		No Operation		None	1
		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾	Operation Range	
8	2.7 - 5.5V	ATmega8515L-8AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		ATmega8515L-8PC	40P6		
		ATmega8515L-8JC	44J		
		ATmega8515L-8MC ⁽²⁾	44M1		
		ATmega8515L-8AI	44A		Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega8515L-8PI	40P6		
		ATmega8515L-8JI	44J		
		ATmega8515L-8MI	44M1		
	ATmega8515L-8AU ⁽²⁾	44A			
	ATmega8515L-8PU ⁽²⁾	40P6			
	ATmega8515L-8JU ⁽²⁾	44J			
	ATmega8515L-8MU ⁽²⁾	44M1			
	16	4.5 - 5.5V	ATmega8515-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
			ATmega8515-16PC	40P6	
ATmega8515-16JC			44J		
ATmega8515-16MC			44M1		
ATmega8515-16AI			44A	Industrial (-40°C to 85°C)	
ATmega8515-16PI			40P6		
ATmega8515-16JI			44J		
ATmega8515-16MI			44M1		
ATmega8515-16AU ⁽²⁾		44A			
ATmega8515-16PU ⁽²⁾		40P6			
ATmega8515-16JU ⁽²⁾		44J			
ATmega8515-16MU ⁽²⁾		44MI			

1. This device can also be supplied in wafer form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
2. Pb-free packaging alternative, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.

Package Type	
	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
	44-lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
	44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm body, lead pitch 0.50 mm, Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)



DM74LS164 8-Bit Serial In/Parallel Out Shift Register

General Description

These 8-bit shift registers feature gated serial inputs and an asynchronous clear. A low logic level at either input inhibits entry of the new data, and resets the first flip-flop to the low level at the next clock pulse, thus providing complete control over incoming data. A high logic level on either input enables the other input, which will then determine the state of the first flip-flop. Data at the serial inputs may be changed while the clock is HIGH or LOW, but only information meeting the setup and hold time requirements will be entered. Clocking occurs on the LOW-to-HIGH level transition of the clock input. All inputs are diode-clamped to minimize transmission-line effects.

Features

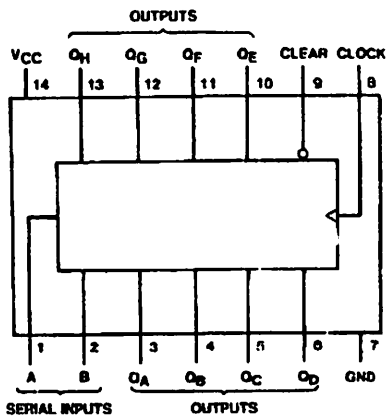
- Gated (enable/disable) serial inputs
- Fully buffered clock and serial inputs
- Asynchronous clear
- Typical clock frequency 38 MHz
- Typical power dissipation 80 mW

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS164M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS164N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram

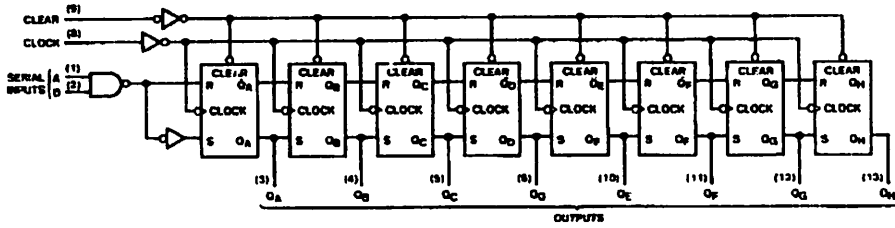


Function Table

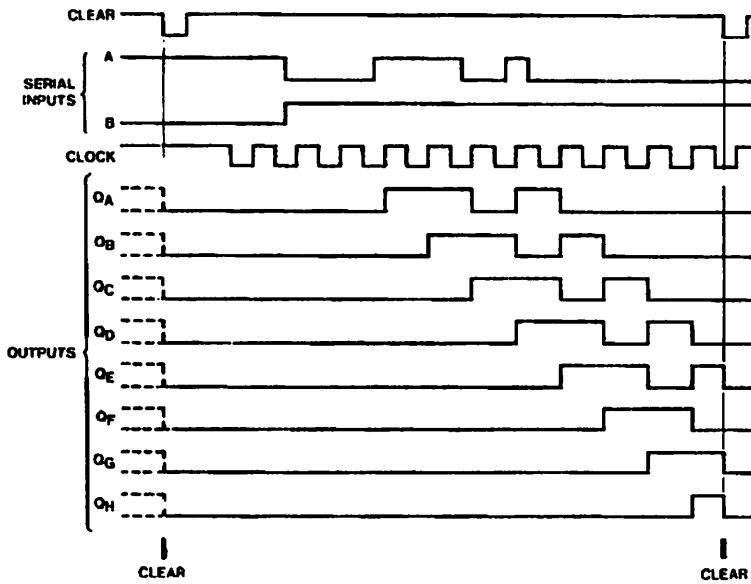
Inputs				Outputs			
Clear	Clock	A	B	QA	QB	...	QH
L	X	X	X	L	L	...	L
H	L	X	X	QA0	QB0	...	QH0
H	↑	H	H	H	QA _n	...	QH _n
H	↑	L	X	L	QA _n	...	QH _n
H	↑	X	L	L	QA _n	...	QH _n

H = HIGH Level (steady state)
L = LOW Level (steady state)
X = Don't Care (any input, including transitions)
↑ = Transition from LOW-to-HIGH level
QA₀, QB₀, QH₀ = The level of QA, QB, or QH, respectively, before the indicated steady-state input conditions were established.
QA_n, QH_n = The level of QA or QH before the most recent ↑ transition of the clock; indicates a one-bit shift.

Logic Diagram



Timing Diagram



Absolute Maximum Ratings (Notes 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" tables will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			8	mA
f _{CLK}	Clock Frequency (Note 2)	0		25	MHz
t _W	Pulse Width (Note 2)	Clock	20		ns
		Clear	20		
t _{SU}	Data Setup Time (Note 2)	17			ns
t _H	Data Hold Time (Note 2)	5			ns
t _{REL}	Clear Release Time (Note 2)	30			ns
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Note 2: T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 3)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	2.7	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min		0.35	0.5	V
		I _{OL} = 4 mA, V _{CC} = Min		0.25	0.4	
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	µA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 4)	-20		-100	mA
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max (Note 5)		18	27	mA

Note 3: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 4: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

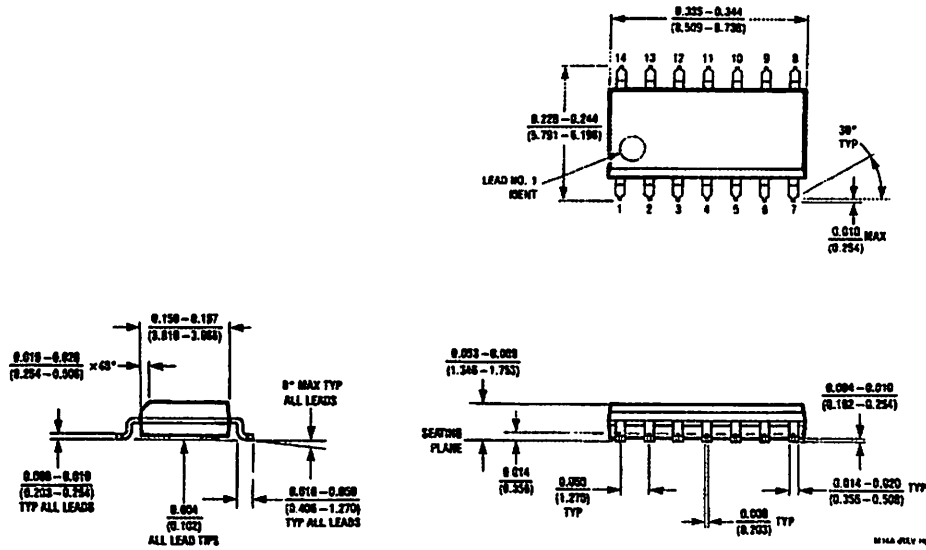
Note 5: I_{CC} is measured with all outputs OPEN, the SERIAL input grounded, the CLOCK input at 2.4V, and a momentary ground, then 4.5V, applied to the CLEAR input.

Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

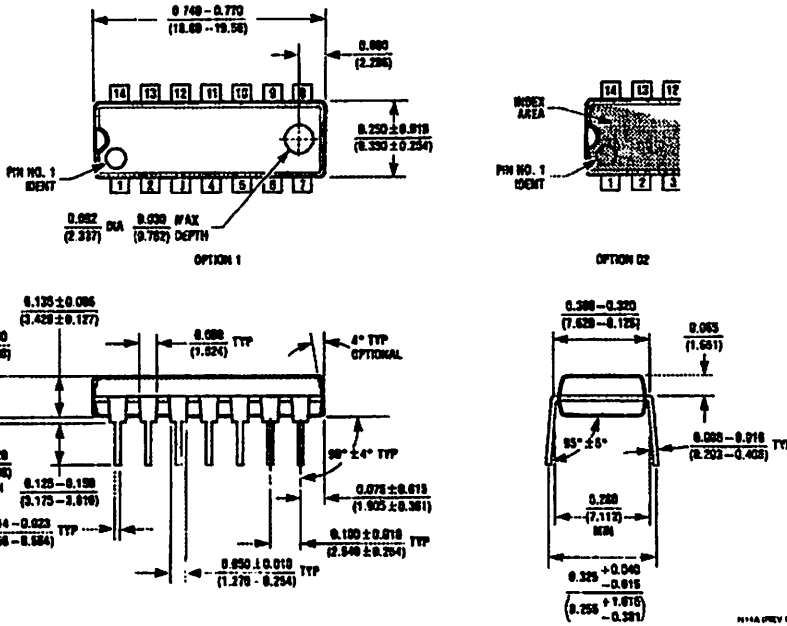
Symbol	Parameter	From (Input) To (Output)	R _L = 2 kΩ				Units
			C _L = 15 pF		C _L = 50 pF		
			Min	Max	Min	Max	
f _{MAX}	Maximum Clock Frequency		25				MHz
t _{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	Clock to Output		27		30	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	Clock to Output		32		40	ns
t _{PCL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	Clear to Output		36		45	ns

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
Package Number M14A

Physical Dimensions Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide Package Number N14A

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

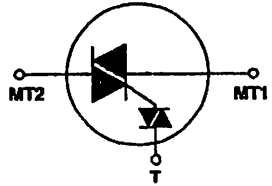
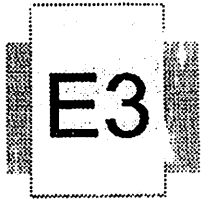
1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

TECCOR RECOGNIZED
1970-1990



TO-220
Isolated



Quadrac

Internally Triggered Triacs (4 A to 15 A)

General Description

Teccor's *Quadrac* devices are triacs that include a diac trigger internally inside the same package. This device, developed by Teccor, saves the user the expense and assembly time of buying discrete diac and assembling in conjunction with a gated triac. Also, the alternistor *Quadrac* device (QxxxxLTH) eliminates the need for a snubber network.

The *Quadrac* device is a bidirectional AC switch and its gate is controlled for either polarity of main terminal voltage. Its primary purpose is for AC switching and phase control applications such as speed controls, temperature modulation controls, and lighting controls where noise immunity is required.

Rated current capacities range from 4 A to 15 A with voltage ratings from 200 V to 600 V. *Quadrac* devices are available in the TO-220 package.


The TO-220 package is electrically isolated to 2500 V rms from leads to mounting surface. 4000 V rms is available on special order. This means that no external isolation is required, thus eliminating the need for separate insulators and insulator-mounting steps and saving dollars over "hot tab" devices.

All Teccor triac and diac chips have glass-passivated junctions to ensure long-term device reliability and parameter stability.

Variations of devices in this data sheet are available for custom design applications. Consult the factory for more information.

Features

- Glass-passivated junctions
- Electrically-isolated package
- Internal trigger diac
- High surge capability — up to 200 A
- High voltage capability — 200 V to 600 V

Part No.	Isolated	V _{DRM} (1)	I _{CRM} (1) (10)			V _{TM} (1) (3)	Trigger Diac Specifications (T-MT1)						
			mAmps				Volts	ΔV _{BO} (7)	V _{BO} (6)		[ΔV±] (6)	I _{BO} μAmps	C _T μFseconds (11)
			T _C = 25 °C	T _C = 100 °C	T _C = 125 °C				T _C = 25 °C	Volts			
 TO-220		Volts				Volts							
Package Dimensions* section for variations. (12)		MIN	MAX			MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	
Q2004LT		200	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4004LT		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6004LT		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q2006LT		200	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4006LT		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6006LT		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4006LTH		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6006LTH		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q2008LT		200	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4008LT		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6008LT		600	0.35	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4008LTH		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6008LTH		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q2010LT		200	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4010LT		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6010LT		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4010LTH		400	0.35	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6010LTH		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q2015LT		200	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4015LT		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6015LT		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q4015LTH		400	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	
Q6015LTH		600	0.05	0.5	2	1.6	3	33	43	5	25	0.1	

Test Conditions

- Dynamic breakback voltage (forward and reverse)
- Breakover voltage symmetry
- Gate firing capacitance
- Maximum rate-of-change of on-state current
- Critical rate-of-rise of off-state voltage at rated V_{DRM} gate open
- Critical rate-of-rise of commutation voltage at rated V_{DRM} (RMS) commutating di/dt = 0.54 rated I_{T(RMS)}/ms; gate triggered
- Surge (non-repetitive) on-state current for period of 8.3 ms
- Peak breakover current
- Peak off-state current gate open; V_{DRM} = maximum rated value
- Peak gate trigger current (10 μs Max)
- Gate firing current; gate open
- RMS on-state current, conduction angle of 360°
- Peak one-cycle surge
- Gate controlled turn-on time
- Breakover voltage (forward and reverse)

V_{DRM} — Repetitive peak blocking voltage
 V_{TM} — Peak on-state voltage at maximum rated RMS current

General Notes

- All measurements are made at 60 Hz with resistive load at an ambient temperature of +25 °C unless otherwise specified.
- Operating temperature range (T_J) is -40 °C to +125 °C.
- Storage temperature range (T_S) is -40 °C to +125 °C.
- Lead solder temperature is a maximum of +230 °C for 10 seconds maximum; ≥1/16" (1.59 mm) from case.
- The case temperature (T_C) is measured as shown on dimensional outline drawings. See "Package Dimensions" section of this catalog.

Electrical Specification Notes

- For either polarity of MT2 with reference to MT1
- See Figure E3.1 for I_H versus T_C.
- See Figure E3.4 and Figure E3.5 for I_T versus V_T.
- See Figure E3.9 for surge ratings with specific durations.

I _H 1) (2)	I _{RSM} (4) (8)	dv/dt(c) (1) (5) (8)	dv/dt (1)		t _{gr} (6) (9)	i ² t	I _{GRM}	di/dt (9)
			Volts/μSec					
			T _C = 100 °C	T _C = 125 °C				
nAmps	Amps	Volts/μSec			μSec	Amps ² Sec	Amps	Amps/μSec
MAX	60/50Hz	MIN	MIN		TYP			
40	55/48	3	75	50	3	12.5	1.2	50
40	55/48	3	75	50	3	12.5	1.2	50
40	55/48	3	50	50	3	12.5	1.2	50
50	80/85	4	150	100	3	26.5	1.5	70
50	80/85	4	150	100	3	26.5	1.5	70
50	80/85	4	125	85	3	26.5	1.5	70
50	80/85	25	575	450	3	26.5	1.5	70
50	80/85	25	425	350	3	26.5	1.5	70
60	100/83	4	175	120	3	41	1.5	70
60	100/83	4	175	120	3	41	1.5	70
60	100/83	4	150	100	3	41	1.5	70
60	100/83	25	575	450	3	41	1.5	70
60	100/83	25	425	350	3	41	1.5	70
60	120/100	4	200	150	3	60	1.5	70
60	120/100	4	200	150	3	60	1.5	70
60	120/100	4	175	120	3	60	1.5	70
60	120/100	30	925	700	3	60	1.5	70
60	120/100	30	775	600	3	60	1.5	70
70	200/167	4	300	200	3	166	1.5	100
70	200/167	4	300	200	3	166	1.5	100
70	200/167	4	200	150	3	166	1.5	100
70	200/167	30	925	700	3	166	1.5	100
70	200/167	30	775	600	3	166	1.5	100

See Figure E3.6, Figure E3.7, and Figure E3.8 for current rating at specific operating temperature.

See Figure E3.2 and Figure E3.3 for test circuit.

$$\Delta V_{BO} = [+ V_{BO}] - [- V_{BO}]$$

See Figure E3.7 and Figure E3.8 for maximum allowable case temperature at maximum rated current.

Trigger firing capacitance = 0.1 μF with 0.1 μs rise time

T_C = T_J for test conditions in off state

Maximum required value to ensure sufficient gate current

See package outlines for lead form configurations. When ordering special lead forming, add type number as suffix to part number.

Electrical Isolation

All Teccor isolated *Quadrac* packages withstand a minimum high potential test of 2500 V ac rms from leads to mounting tab over the operating temperature range of the device. The following isolation table shows standard and optional isolation ratings.

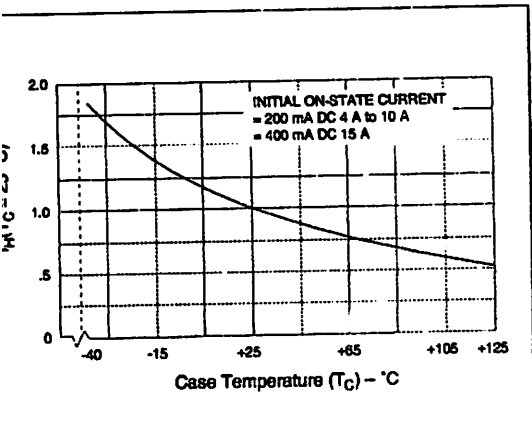
Electrical Isolation from Leads to Mounting Tab *	
V AC RMS	TYPE
2500	Standard
4000	Optional **

* UL Recognized File #E71639

**For 4000 V isolation, use "V" suffix in part number.

Thermal Resistance (Steady State) R_{θJC} [R_{θJA}] °C/W (TYP)

TYPE	Isolated TO-220
4 A	3.6 [50]
6 A	3.3
9 A	2.8
10 A	2.6
15 A	2.1



1 Normalized DC Holding Current versus Case Temperature

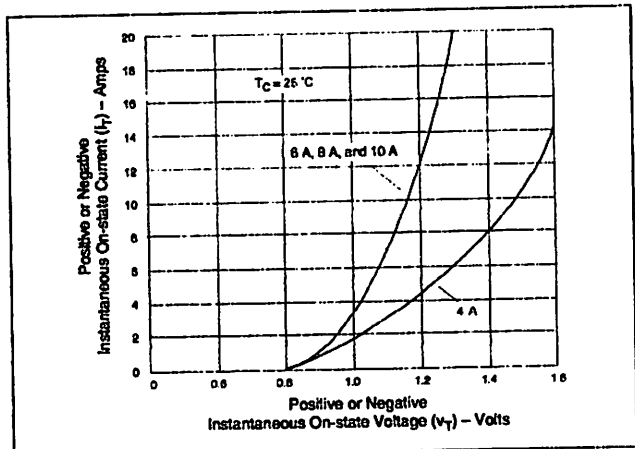
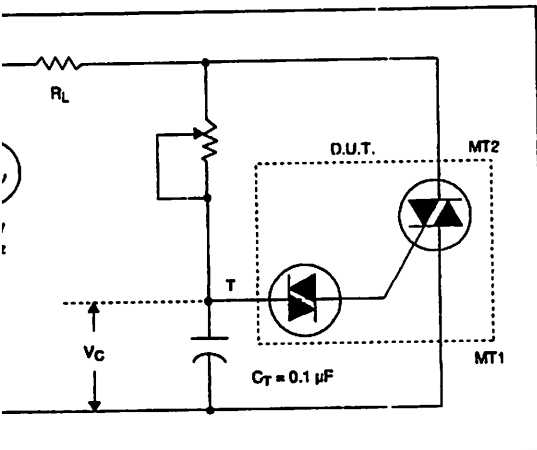


Figure E3.4 On-state Current versus On-state Voltage (Typical) (4 A to 10 A)



1.2 Test Circuit

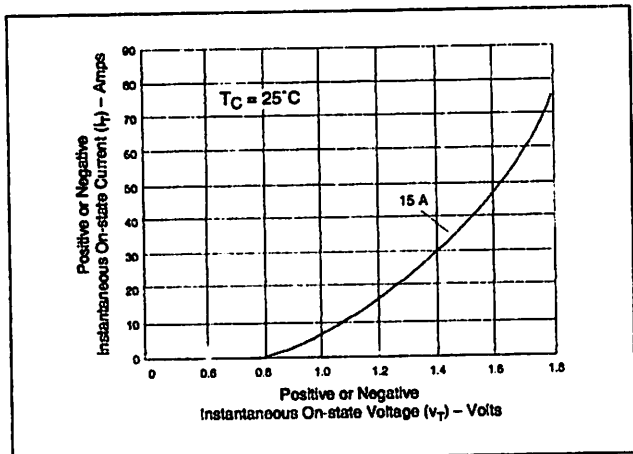
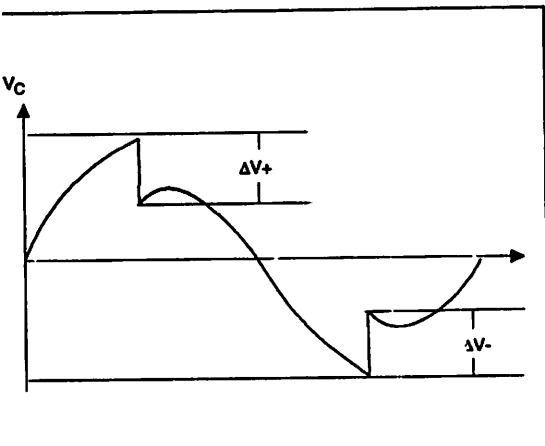


Figure E3.5 On-state Current versus On-state Voltage (Typical) (15 A)



3.3 Test Circuit Waveforms

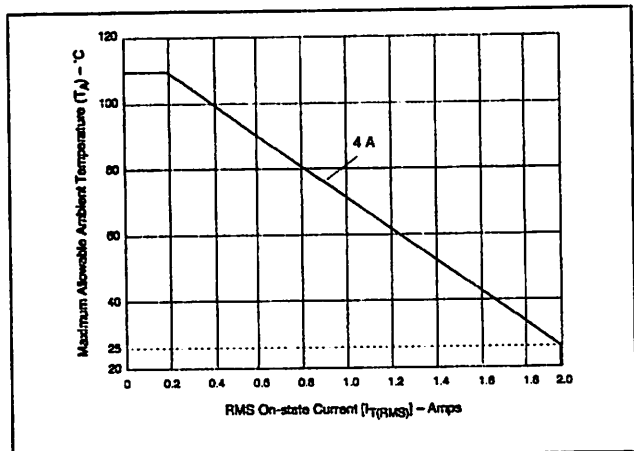


Figure E3.6 Maximum Allowable Ambient Temperature versus On-state Current

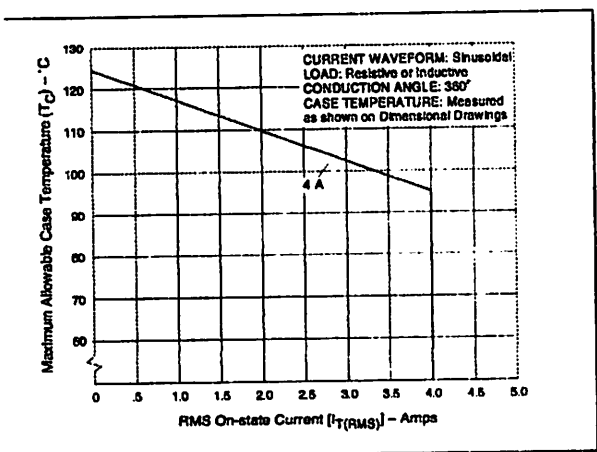


Figure E3.7 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (4 A)

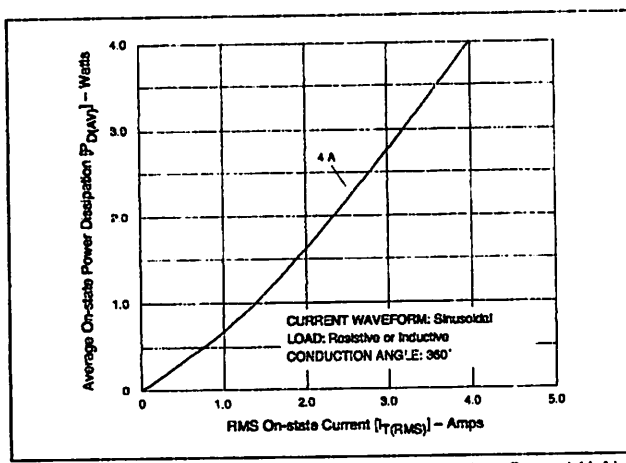


Figure E3.10 Power Dissipation (Typical) versus On-state Current (4 A)

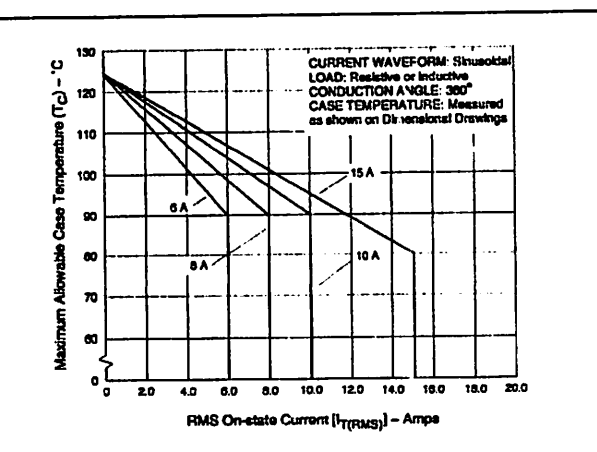


Figure E3.8 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (6 A to 15 A)

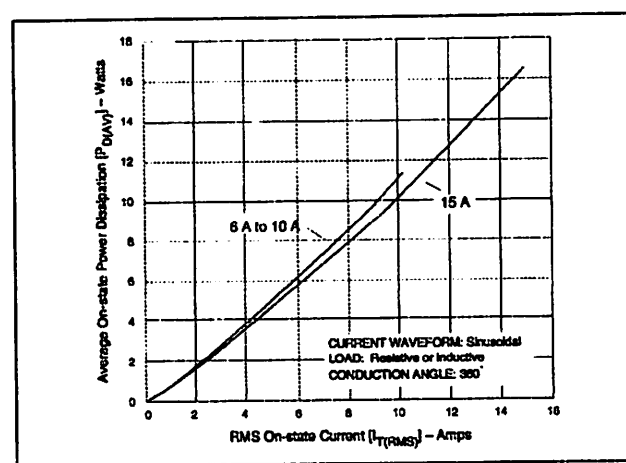


Figure E3.11 Power Dissipation (Typical) versus On-state Current (6 A to 10 A and 15 A)

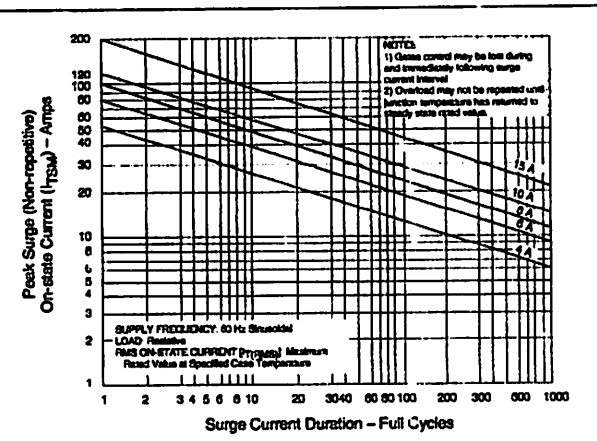


Figure E3.9 Peak Surge Current versus Surge Current Duration

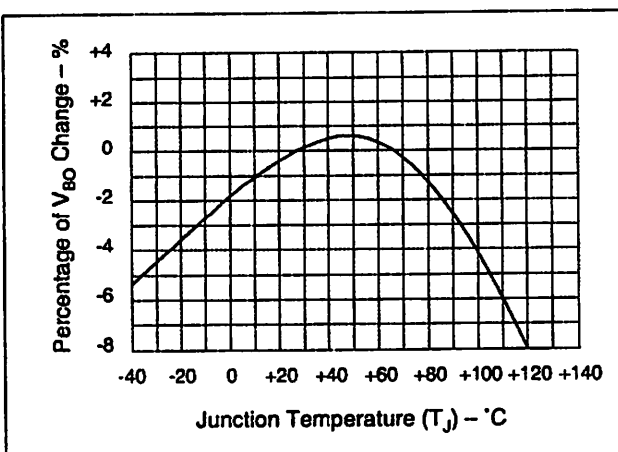


Figure E3.12 Normalized diac V_{BO} versus Junction Temperature