

Bidang Ilmu* : Teknik Kendali

LAPORAN PENELITIAN REGULER



**DESAIN SISTEM HYBRID SUMBER LISTRIK SATU FASA PADA
RUMAH TINGGAL**

Oleh :

Adhi Kusmantoro, ST, MT

Ir. Agus Nuwolo, MT

Ken Hasto, ST, MT

NPP. 147301432

NPP. 136101384

NPP. 136201390

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG**

2018

HALAMAN PENGESAHAN


1. a. Judul Penelitian : Desain Sistem Hybrid Sumber Listrik Satu Fasa Pada Rumah Tinggal
- b. Bidang Ilmu : Teknik Kendali
2. Ketua Peneliti
 - a. Nama Lengkap dan Gelar : Adhi Kusmantoro, ST, MT
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. Golongan/Pangkat/NPP : III C /Penata/ 147301432
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor
 - e. Fakultas/Jurusan : Fakultas Teknik dan Informatika/ Teknik Elektro
 - f. Pusat Penelitian : Laboratorium Teknik Elektro
 - g. Alamat kantor/Telp/Fax/E-mail : Jl. Lontar no 1 Sidodadi Timur / 024-8316377
 - h. Alamat rumah/Telp/Fax/E-mail : Jl.Taman Borobudur Timur V/8 Semarang / 024-7600855/ adhiteknik@gmail.com
3. Jumlah Anggota Peneliti : 2 orang
 - a. Nama Anggota 1 : Ir.Agus Nuwolo, MT
 - b. Nama Anggota 2 : Ken Hasto, ST, MT
 - c. Perguruan Tinggi : Universitas PGRI Semarang
4. Lokasi Penelitian : Perumahan Ngaliyan Semarang
5. Lama Penelitian : 6 bulan
6. Biaya yang diperlukan : Rp. 8.500.000,-
7. Sumber Biaya : Universitas PGRI Semarang

Semarang, 11 April 2018

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Informatika


Drs. Bambang Supriyadi, M.Pd
NIP. 195410151982031003

Ketua Peneliti


Adhi Kusmantoro, ST, MT
NPP. 147301432

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat


Ir. Suwarno Widodo, M.Si
NPP. 876101038

RINGKASAN

Energi listrik merupakan salah satu energi yang banyak digunakan di industri dan rumah tinggal. Penggunaan energi listrik di Indonesia terus mengalami kenaikan dan akan menimbulkan masalah jika sumber energi listrik yang tersedia lebih kecil dari kapasitas listrik yang dibutuhkan. Tujuan dari penelitian ini merancang sumber listrik satu fasa menggunakan inverter dengan sumber utama dari aki 60 AH. Sumber listrik yang dihasilkan digunakan sebagai sistem hybrid dengan listrik PLN. Kebutuhan masyarakat pada rumah tinggal dan industri dalam pemakaian energi listrik selain sumber listrik PLN pada saat sekarang sangat dibutuhkan, sehingga ketergantungan terhadap listrik PLN dapat dikurangi. Jadi penelitian ini mengangkat suatu permasalahan pemakaian energi listrik menggunakan sumber DC aki, khususnya untuk rumah tinggal. Penelitian yang akan dilakukan merupakan jenis penelitian eksperimental, dimana pada penelitian ini akan membuktikan hipotesa berdasarkan pengujian terhadap beban dengan menggunakan *tool* yang berupa suatu algoritma dan perangkat keras. Populasi dalam penelitian ini rangkaian inverter satu fasa, pengendali ATS (*Automatic Transfer Switch*), dan beban pompa. Inverter satu fasa menggunakan rangkaian jembatan transistor gelombang penuh dan pengendali ATS menggunakan zelio SR2B121BD, sedangkan beban pompa menggunakan motor induksi satu fasa dengan kapasitor running. Tegangan keluaran inverter gelombang kotak hanya stabil jika menggunakan beban lampu (beban resistif), sedangkan untuk penggunaan beban kipas angin (beban induktif) tegangan inverter gelombang kotak mengalami penurunan. Jadi inverter gelombang kotak hanya cocok untuk penggunaan beban lampu saja, karena semakin besar beban induktif yang digunakan maka tegangan keluaran inverter akan semakin turun. Tegangan keluaran inverter gelombang sinusoidal tetap stabil untuk perubahan jenis beban. Inverter jenis ini dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam rumah tinggal, khususnya untuk jenis beban induktif. Sistem ATS yang digunakan bekerja sesuai dengan program zelio. Jika sumber listrik PLN mati maka dalam waktu 10 detik kontaktor untuk sumber listrik *inverter* akan bekerja. Demikian pula sebaliknya jika listrik PLN menyala, maka kontaktor *inverter* akan mati dan dalam waktu 5 detik kontaktor PLN akan menyala. Selisih waktu bekerjanya kontaktor PLN dan kontaktor *inverter* adalah 5 detik.

Kata Kunci : Inverter Satu Fasa, Sistem Hybrid Energi Listrik, Kontrol ATS

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kelancaran maka kegiatan penelitian yang berjudul “Desain Sistem Hybrid Sumber Listrik Satu Fasa Pada Rumah Tinggal” dapat terlaksana dengan baik. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan penggunaan energi listrik satu fasa pada rumah tinggal, sehingga efisiensi penggunaan sumber energi listrik dapat ditingkatkan.

Laporan penelitian ini berisi rangkaian kegiatan dengan beberapa metode yang telah dilaksanakan dari awal sampai dengan akhir. Namun demikian penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penelitian selanjutnya. Kami berharap penelitian ini dapat memberikan sumbangsih dalam bidang teknik tenaga listrik khususnya masalah sumber energi terbarukan.

Pada kesempatan ini, Tim peneliti menyampaikan terima kasih terhadap pihak yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan dalam melaksanakan penelitian serta penyusunan laporan penelitian ini :

1. Rektor Universitas PGRI Semarang.
2. Ketua LPPM Universitas PGRI Semarang.
3. Dekan Fakultas Teknik dan Informatika Universitas PGRI Semarang.
4. Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas PGRI Semarang.
5. Kepala Laboratorium Teknik Elektro Universitas PGRI Semarang.
6. Semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Semoga laporan penelitian ini bermanfaat baik secara teori maupun secara praktek khususnya dalam bidang teknik tenaga listrik untuk meningkatkan efisiensi pemakaian sumber daya listrik pada rumah tinggal.

Semarang, 3 Januari 2018



Tim Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Inverter	3
2.2 Inverter Satu Fasa Jembatan Setengah Gelombang	4
2.3 Inverter Satu Fasa Jembatan Gelombang Penuh	7
2.4 Pengatur Tegangan Inverter Satu Fasa Dengan PWM	12
2.5 Deret Fourier Sinyal Periodik	24
2.6 Mikrokontroler Arduino Uno	28
2.7 Zelio Smart Relay	32
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Pendekatan Penelitian	34
3.2. Populasi dan Sampel	34
3.3. Metode Pengambilan Sampel	34
3.4. Instrumen Penelitian	35
3.5. Rancangan Penelitian	35
3.6. Teknik Pengumpulan Data	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Inverter Satu Fasa Gelombang Kotak	37
4.2 Inverter Satu Fasa Gelombang Sinusoidal	39

4.3	Automatic Transfer Switch	40
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		44
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip kerja inverter	3
Gambar 2.2 Bentuk gelombang keluaran	3
Gambar 2.3 Inverter jembatan setengah gelombang	5
Gambar 2.4 Bentuk gelombang keluaran beban resistif	5
Gambar 2.5 Inverter dengan beban induktif	6
Gambar 2.6 Bentuk arus pada beban induktif	7
Gambar 2.7 Inverter jembatan gelombang penuh	8
Gambar 2.8 Keluaran inverter jembatan gelombang penuh	8
Gambar 2.9 Arus keluaran beban induktif tinggi	9
Gambar 2.10 Inverter satu fasa dengan modulasi gelombang persegi	10
Gambar 2.11 Keluaran inverter modulasi gelombang persegi	10
Gambar 2.12 Harmonik inverter modulasi gelombang persegi	11
Gambar 2.13 Keluaran inverter modifikasi modulasi gelombang persegi	11
Gambar 2.14 Harmonik inverter modifikasi modulasi gelombang persegi	11
Gambar 2.15 Pembangkitan sinyal single PWM	12
Gambar 2.16 Sinyal pemicu transistor inverter	13
Gambar 2.17 Gelombang keluaran inverter single PWM	13
Gambar 2.18 Profil harmonisa inverter single PWM	14
Gambar 2.19 Pembangkitan sinyal multiple PWM	14
Gambar 2.20 Sinyal pemicu inverter multiple PWM	14
Gambar 2.21 Tegangan keluaran inverter multiple PWM	15
Gambar 2.22 Profile harmonisa inverter multiple PWM	16
Gambar 2.23 Inverter jembatan setengah gelombang dengan SPWM	16
Gambar 2.24 Pembangkitan sinyal SPWM	16
Gambar 2.25 Spektrum harmonisa tegangan V_{A0}	18
Gambar 2.26 Komponen frekuensi fundamental V_{A0}	18
Gambar 2.27 Inverter jembatan gelombang penuh dengan PWM	20
Gambar 2.28 Inverter dengan switching tegangan bipolar	21
Gambar 2.29 Harmonik untuk overmodulasi pada $m_a = 2.5$ dan $m_f = 15$	21
Gambar 2.30 Keluaran tegangan fundamental sebagai fungsi indeks modulasi	22

Gambar 2.31 Arus DC-side inverter satu fasa dengan PWM switching tegangan bipolar	22
Gambar 2.32 Switching tegangan unipolar inverter satu fasa	23
Gambar 2.33 Arus DC-side inverter satu fasa dengan PWM switching tegangan unipolar	23
Gambar 2.34 <i>Riple</i> keluaran inverter (a) gelombang persegi (b) PWM bipolar	23
Gambar 2.35 Modifikasi sinusoidal PWM	24
Gambar 2.36 Sinyal periodis	24
Gambar 2.37 Harmonik pada sinyal	25
Gambar 2.38 Bentuk gelombang isyarat	25
Gambar 2.39 Hubungan fasor pada isyarat	26
Gambar 2.40 Sinyal fungsi genap dan ganjil	28
Gambar 2.41 Arduino Uno	29
Gambar 2.42 Papan Arduino Uno	31
Gambar 2.43 Tampilan IDE Arduino	32
Gambar 2.44 Zelio Smart Relay	33
Gambar 3.1 Algoritma penelitian	35
Gambar 3.2 Alur rencana penelitian	36
Gambar 4.1 Inverter satu fasa gelombang kotak	37
Gambar 4.2 Blok diagram sistem pengaturan inverter gelombang kotak	37
Gambar 4.3 Charger aki 12 V dc	38
Gambar 4.4 Kendali relay 12 V dc	38
Gambar 4.5 Rangkaian sistem kendali inverter gelombang kotak	38
Gambar 4.6 Panel inverter satu fasa gelombang sinusoidal	39
Gambar 4.7 Charge controller Aki dari solar sell	39
Gambar 4.8 Inverter gelombang sinusoidal	40
Gambar 4.9 LD Sistem manual	40
Gambar 4.10 LD Sistem automatic	41
Gambar 4.11 Blok diagram sistem ATS	41
Gambar 4.12 Rangkaian utama ATS	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Prinsip kerja inverter	3
Tabel 2.2 Keluaran inverter jembatan setengah gelombang	17
Tabel 2.3 Harmonik V_{Ao} untuk m_f yang besar	20
Tabel 2.4 Keluaran inverter jembatan gelombang penuh	21
Tabel 2.5 Spesifikasi Arduino Uno	29
Tabel 2.6 Jenis dan tipe Zelio model Compact	33
Tabel 4.1 Pengujian beban inverter gelombang kotak	38
Tabel 4.2 Pengujian beban inverter sinusoidal	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu energi yang banyak digunakan di industri dan rumah tinggal. Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan telah mendorong pemanfaatan tenaga listrik pada semua peralatan yang digunakan manusia. Besarnya kebutuhan akan energi listrik menyebabkan ketergantungan terhadap listrik semakin meningkat, sedangkan sumber energi listrik di Indonesia semakin hari semakin berkurang terutama yang menggunakan energi fosil atau energi tidak terbarukan seperti minyak, batu bara dan gas. Oleh karena jumlah energi fosil makin lama semakin berkurang dan hal tersebut membuat harganya terus meningkat, sehingga salah satu upaya yang dapat ditempuh untuk mengurangi ketergantungan atas pembangkit listrik yang menggunakan energi tidak terbarukan tersebut sebagai bahan bakar utama adalah dengan mengembangkan sistem pembangkit listrik energi terbarukan, yang sumber bahan bakar pembangkit utamanya bisa didapat secara bebas dan juga ramah lingkungan. Beberapa contoh pembangkit listrik energi terbarukan yang sedang berkembang adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), pembangkit listrik tenaga angin, pembangkit listrik tenaga biogas dan pembangkit listrik tenaga surya/ PLTS (Habibullah, 2014).

Penggunaan energi listrik di Indonesia terus mengalami kenaikan dan akan menimbulkan masalah jika sumber energi listrik yang tersedia lebih kecil dari kapasitas listrik yang dibutuhkan. Kebijakan yang diambil PLN sebagai perusahaan yang memiliki tanggung jawab dalam hal menyediakan energi listrik, memperlihatkan bahwa energi listrik yang disediakan oleh PLN hanya memiliki kelebihan sekitar 3 GW. Jika PLN tidak segera menambah kapasitas energi listrik dengan membangun pembangkit listrik baru maka akan berdampak terhadap pelayanan energi listrik kepada masyarakat. Keadaan ini sangat berdampak pada kegiatan industri besar, industri menengah dan industri kecil serta peralatan rumah tinggal. Pemanfaatan pembangkit listrik dengan energi primer yang bersifat terbarukan sangat membantu dalam mengatasi permasalahan kekurangan energi listrik, karena potensi energi terbarukan keberadaanya sangat besar sekali atau tidak terbatas. Selain itu penggunaan energi terbarukan sel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara dan suara seperti pada pembangkit listrik konvensional (Hasyim Asy'ari, 2015). Oleh karena itu dalam penelitian ini diusulkan rancangan konversi

energi listrik, yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC dari battery maupun dari sel surya menjadi tegangan AC.

1.2 Rumusan Masalah

Agar penelitian ini terarah dengan baik, maka terlebih dahulu diajukan perumusan masalah yang akan di teliti yaitu :

1. Apakah inverter yang digunakan mampu memberikan sumber listrik satu fasa secara maksimum ?
2. Apakah sistem hybrid antara sumber DC dari aki dengan sumber listrik PLN mampu bekerja menyediakan sumber listrik beban secara bergantian ?
3. Apakah sumber listrik yang telah dihasilkan dari sistem hybrid tidak mengandung harmonisa ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini merancang sumber listrik satu fasa menggunakan inverter dengan sumber utama dari aki 60 AH. Sumber listrik yang dihasilkan digunakan sebagai sistem hybrid dengan listrik PLN.

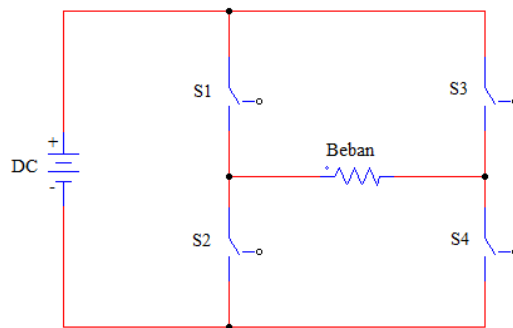
1.4 Manfaat Penelitian

Alat yang telah dihasilkan dapat digunakan warga masyarakat sebagai alternatif sumber listrik satu fasa, pengganti Genset dan bahkan dapat digunakan sebagai sumber listrik utama rumah tinggal. Penelitian yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengembangkan riset tentang energi listrik dan pengendali, khususnya masalah energi terbarukan. Untuk Universitas PGRI Semarang diharapkan dapat menjadi salah satu informasi, evaluasi, dan referensi dalam meningkatkan efisiensi dalam rangka penghematan daya listrik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Inverter

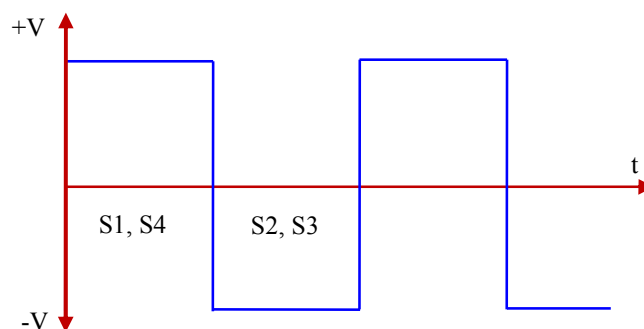
Inverter adalah suatu rangkaian elektronika yang fungsinya untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan keluaran bolak-balik (AC). Tegangan dan frekuensi keluaran inverter dapat tetap atau dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Static inverter mempunyai tegangan dan frekuensi keluaran yang tetap. Sumber tegangan masukan inverter dapat menggunakan battery, solar cell, dan sumber tegangan DC lainnya.



Gambar 2.1 Prinsip kerja inverter

Tabel 2.1 Prinsip kerja inverter

Posisi Sakelar	Tegangan Keluaran
S1, S4	$+V_{DC}$
S2, S3	$-V_{DC}$



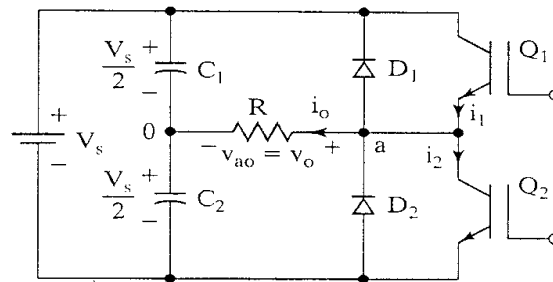
Gambar 2.2 Bentuk gelombang keluaran

Bila sakelar S1, S4 tertutup dan S2, S3 terbuka maka beban akan mendapatkan tegangan positif, tetapi jika sakelar S2, S3 tertutup dan sakelar S1, S4 terbuka maka beban akan mendapat tegangan negatif. Oleh karena itu jika pasangan sakelar S1, S4 dan sakelar S2, S3 bekerja secara bergantian, maka pada beban akan memperoleh tegangan bolak-balik. Besarnya tegangan keluaran inverter tergantung dari amplitudo tegangan masukan. Inverter yang digunakan sebagai sumber tegangan AC peralatan listrik mempunyai tegangan keluaran secara ideal sinusoida, walaupun banyak juga inverter dengan keluaran gelombang persegi digunakan untuk lampu. Gelombang keluaran inverter ini mengandung banyak harmonisa, sehingga tidak dapat digunakan untuk sumber listrik pompa air dalam rumah tinggal. Untuk mengurangi kandungan harmonisa, inverter dapat menggunakan komponen semikonduktor dengan kecepatan tinggi. Setiap jenis inverter tersebut dapat dikelompokkan dalam empat kategori ditinjau dari jenis rangkaian komutasi pada SCR, yaitu: (1) modulasi lebar pulsa, (2) inverter resonansi, (3) inverter komutasi bantu, dan (4) inverter komutasi komplemen. Inverter disebut sebagai inverter catu-tegangan (*voltage-fed inverter-VFI*) apabila tegangan masukan selalu dijaga konstan, disebut inverter catu arus (*current-fed inverter-CFI*) apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, dan disebut inverter variable (*variable dc linked inverter*) apabila tegangan masukan dapat diatur. Selanjutnya, jika ditinjau dari proses konversi, inverter dapat dibedakan dalam tiga jenis yaitu inverter seri, inverter paralel, dan inverter jembatan. Inverter jembatan dapat dibedakan menjadi inverter jembatan setengah jembatan (*half bridge*) dan inverter jembatan gelombang penuh (*full bridge*). Tegangan keluaran rms inverter dapat ditentukan dengan persamaan

$$V_o = \left\{ \frac{2}{T_0} \int_0^{\frac{T_0}{2}} V^2 dt \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (2.1)$$

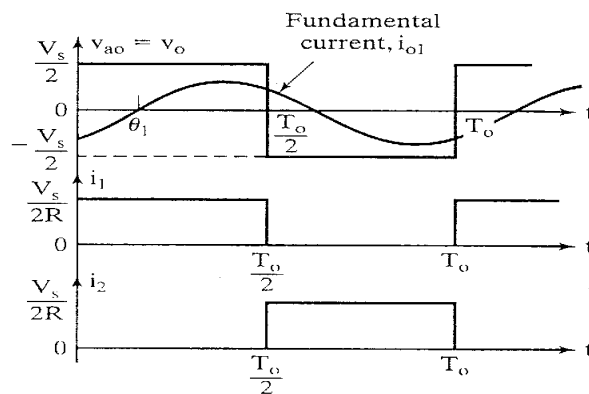
2.2 Inverter Satu Fasa Jembatan Setengah Gelombang

Inverter jembatan setengah gelombang ini diperlihatkan pada gambar 2.3, inverter ini mempunyai konfigurasi dengan dua transistor.



Gambar 2.3 Inverter jembatan setengah gelombang

Inverter jembatan setengah gelombang pada gambar 2.3 menggunakan dua buah komponen transistor daya yang bekerja secara bergantian. Transistor daya Q_1 dan Q_2 bekerja sebagai sakelar (kondisi saturasi dan *cut off*). Pada saat transistor Q_1 bekerja dan transistor Q_2 tidak bekerja selama periode waktu $T_0/2$ maka tegangan sesaat pada V_0 adalah $V_s/2$ atau titik a terhubung dengan tegangan positif. Sedangkan pada saat transistor Q_2 bekerja dan transistor Q_1 tidak bekerja selama periode waktu $T_0/2$ maka tegangan pada beban adalah $-V_s/2$ atau titik a terhubung dengan tegangan negatif. Sinyal pemicu dari rangkaian gerbang digital dirancang sedemikian rupa sehingga transistor daya Q_1 dan Q_2 bekerja secara bergantian. Bentuk gelombang keluaran pada beban diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk gelombang keluaran beban resistif.

Tegangan keluaran rms inverter dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$V_o = \left\{ \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right\}^{1/2} = \frac{V_s}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Persamaan tegangan keluaran sesaat dalam bentuk deret fourier adalah

$$V_o = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan $\omega = 2\pi f_0$ adalah frekuensi keluaran inverter dalam satuan radian per detik. Sedangkan nilai komponen a_0 , a_n , dan b_n dapat dinyatakan sebagai berikut

$$a_0, a_n = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^0 \frac{-V_s}{2} \sin(n\omega t) d(\omega t) + \int_0^{\pi} \frac{V_s}{2} \sin(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$b_n = \frac{2V_s}{n\pi} \rightarrow n = 1, 3, 5, \dots$$

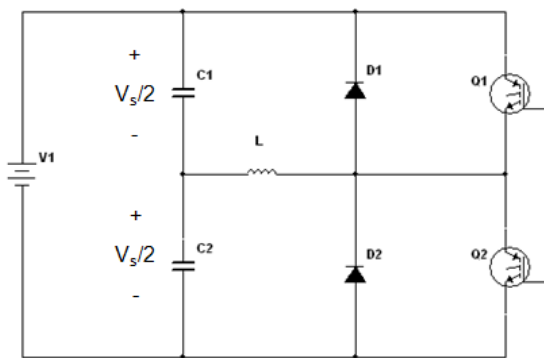
$$V_o = \sum_{n=1, 3, 5, \dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin(n\omega t)$$

Pada saat $n = 1$ harmonisa tidak muncul dan nilai rms untuk komponen fundamental dapat dinyatakan sebagai berikut

$$V_o = \sum_{n=1, 3, 5, \dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin(n\omega t)$$

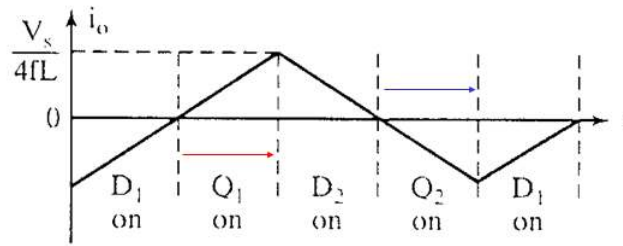
$$V_{o1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2V_s}{\pi}$$

$$V_{o1} = 0.45V_s$$



Gambar 2.5 Inverter dengan beban induktif

Pada saat transistor daya Q₁ off dan transistor Q₂ bekerja selama periode waktu T₀/2, maka arus akan mengalir melalui D₂, beban L, dan C₂. Tegangan pada beban lebih negatif. Demikian pula sebaliknya pada saat transistor daya Q₂ off dan transistor Q₁ bekerja selama periode T₀/2, arus akan mengalir melalui D₁, beban L, dan C₁. Tegangan pada beban lebih positif. Transistor daya hanya bekerja untuk seperempat siklus atau pada sudut 90.



Gambar 2.6 Bentuk arus pada beban induktif

Deret fourier untuk arus keluaran dengan beban RL dapat dinyatakan sebagai berikut

$$i_o = \frac{V_o}{Z} = \frac{V_o}{R + jn\omega L} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n)$$

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{n\omega L}{R}\right)$$

Keluaran daya fundamental untuk inverter satu fasa setengah gelombang dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini

$$P_{o1} = V_{o1} I_{o1} \cos \theta_1 = I_{o1}^2 R$$

$$P_{o1} = \left[\frac{2V_s}{\sqrt{2}\pi\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \right]^2 R$$

Jika memperhitungkan kerugian inverter, maka daya rata-rata yang digunakan beban sama dengan daya rata-rata dari sumber DC.

$$\int_0^T v_s(t) i_s(t) dt = \int_0^T v_o(t) i_o(t) dt$$

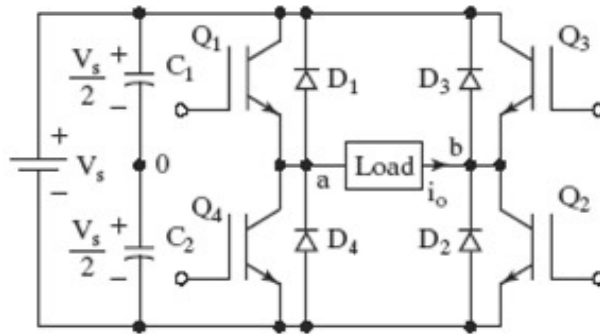
Untuk beban induktif, arus keluaran mendekati sinusoidal dan komponen fundamental dari tegangan keluaran diberikan sebagai daya beban.

$$\int_0^T i_s(t) dt = \frac{1}{V_s} \int_0^T \sqrt{2} V_{o1} \sin(\omega t) \sqrt{2} I_o \sin(\omega t - \theta_1) dt = I_s$$

$$I_s = \frac{V_{o1}}{V_s} I_o \cos(\theta_1)$$

2.3 Inverter Satu Fasa Jembatan Gelombang Penuh

Inverter satu fasa jembatan gelombang penuh menggunakan empat buah transistor daya Q₁, Q₂, Q₃, dan Q₄. Dalam hal ini dua pasang transistor daya yang bekerja secara bergantian, transistor Q₁ bekerja bersamaan dengan transistor Q₂ dan transistor Q₄ bekerja bersamaan dengan transistor Q₃.

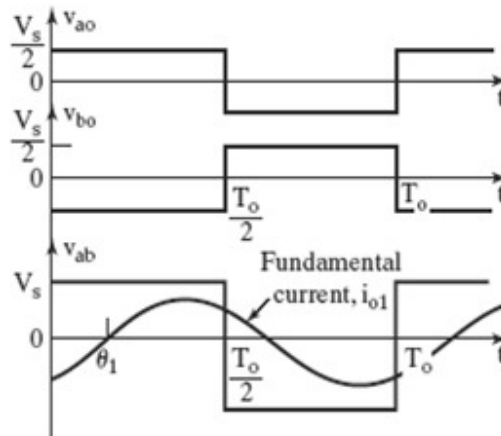


Gambar 2.7 Inverter jembatan gelombang penuh

Pada setengah periode pertama transistor Q₁ dan Q₂ bekerja maka tegangan pada beban atau titik a-b sebesar +V_s, pada setengah periode berikutnya transistor Q₄ dan Q₃ bekerja akan menyebabkan tegangan beban sebesar -V_s. Tegangan keluaran rms inverter dapat dinyatakan dengan persamaan

$$V_o = \left\{ \frac{2}{T_o} \int_0^{\frac{T_o}{2}} V_s^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} = V_s$$

(2.4)



Gambar 2.8 Keluaran inverter jembatan gelombang penuh

Tegangan keluaran inverter dalam bentuk deret fourier dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

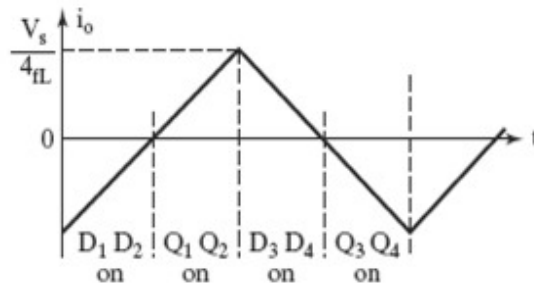
$$V_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin(n\omega t) \dots\dots\dots (2.5)$$

Harga rms dari komponen fundamental pada saat n = 1 dapat dinyatakan dengan

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0,90V_s$$

Sedangkan arus keluaran i_o pada beban RL dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$i_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n) \dots\dots\dots (2.6)$$



Gambar 2.9 Arus keluaran beban induktif tinggi

Dioda dalam rangkaian inverter berfungsi untuk melindungi transistor pada saat *off* terhadap tegangan yang tinggi dari beban induktif. Agar tidak merusak transistor, daya dikembalikan ke sumber DC. Oleh karena keluaran inverter selalu mengandung harmonisa, maka untuk mengetahui kinerja dari inverter tergantung dari beberapa parameter sebagai berikut

1. Faktor harmonisa (HF_n)

Faktor harmonisa dari harmonisa ke-n merupakan ukuran banyaknya harmonisa ke-n. Persamaan faktor harmonisa untuk $n > 1$ adalah

$$HF_n = \frac{V_{on}}{V_{o1}}$$

V_{on} = harga rms untuk komponen harmonik ke-n

V_{o1} = harga rms untuk komponen fundamental

2. Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion menyatakan ukuran pendekatan antara bentuk gelombang dengan komponen fundamental. Untuk menggambarkan banyaknya kandungan harmonisa total digunakan persamaan sebagai berikut

$$THD = \frac{1}{V_{o1}} \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

3. Distortion Factor (DF)

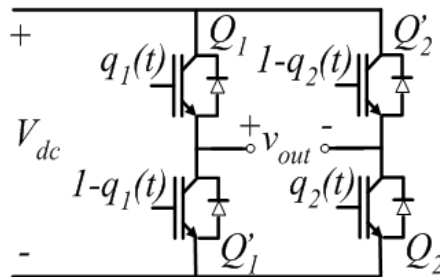
Distortion Factor mengindikasikan jumlah harmonisa yang tersisa pada gelombang tertentu setelah pelemahan gelombang harmonisa orde kedua. *Distortion Factor* untuk komponen harmonisa ke-n dengan $n > 1$ dinyatakan dengan persamaan di bawah ini.

$$DF = \frac{1}{V_{o1}} \left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_{on}}{n^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

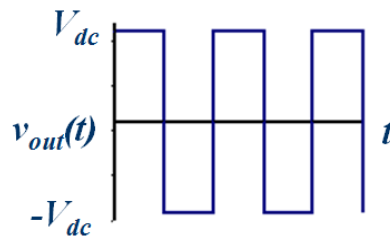
$$DF_n = \frac{V_{on}}{V_{o1} n^2}$$

4. Lowest order harmonic (LOH)

Komponen harmonik yang frekuensinya paling dekat dengan fundamental, dan amplitudonya lebih besar dari atau sama dengan 3% dari amplitudo komponen fundamental.



Gambar 2.10 Inverter satu fasa dengan modulasi gelombang persegi

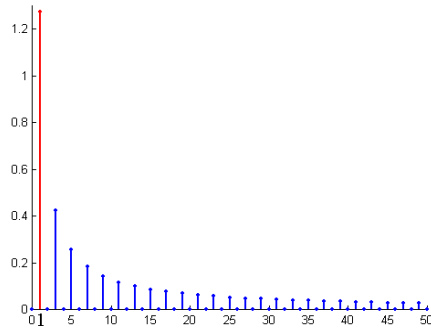


Gambar 2.11 Keluaran inverter modulasi gelombang persegi

Bentuk gelombang keluaran inverter dengan modulasi gelombang persegi diperlihatkan pada gambar 2.11, tegangan keluaran inverter ini pada harmonik $n = 1$ dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini.

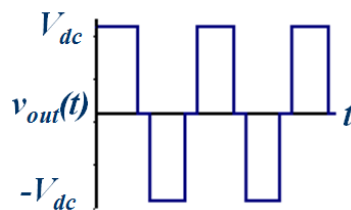
$$V_{out}(t) = \frac{4}{\pi} V_{dc} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi/2)}{n} \cos(n\omega t - n\phi_0) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$V_{out-1} = \frac{4}{\pi} V_{dc} \approx 1.27V_{dc}$$



Gambar 2.12 Harmonik inverter modulasi gelombang persegi

Inverter dengan modulasi gelombang persegi mengandung harmonisa yang besar dengan frekuensi switching transistor yang rendah. Tegangan keluarannya sangat sulit untuk difilter dan fleksibilitas pengaturannya sangat rendah. Untuk harmonisa $n = 1$ menghasilkan *total distortion harmonic* (THD) 0,48.

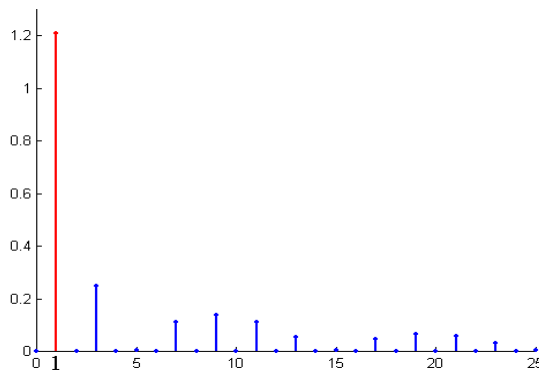


Gambar 2.13 Keluaran inverter modifikasi modulasi gelombang persegi

Tegangan keluaran inverter modifikasi modulasi gelombang persegi pada $n = 1$ dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$V_{out}(t) = \frac{2}{\pi} V_{in} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi/2)}{n} [\cos(n\omega_s t) + \cos(n\omega_s t - n\delta)] \dots\dots\dots (2.8)$$

$$V_{out-1} = \frac{4}{\pi} V_{dc} \cos\left(\frac{\delta}{2}\right)$$



Gambar 2.14 Harmonik inverter modifikasi modulasi gelombang persegi

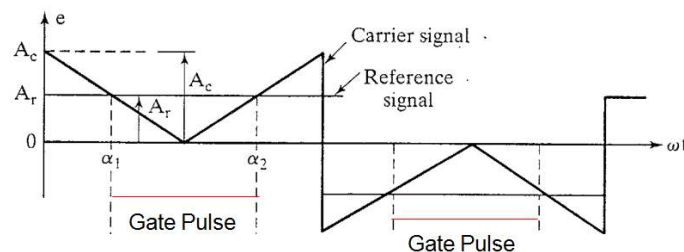
Keluaran inverter dengan modifikasi modulasi gelombang persegi juga mengandung harmonisa yang besar dengan frekuensi switching transistor yang rendah. Tegangan keluarannya juga sangat sulit untuk difilter dan fleksibilitas pengaturannya lebih baik jika dibandingkan dengan inverter modulasi gelombang persegi. Untuk $V_{out-1} = 1,21V_{dc}$ menghasilkan total distorsion harmonic (THD) 0,3.

2.4 Pengatur Tegangan Inverter Satu Fasa Dengan PWM

Modulasi lebar pulsa (PWM) adalah suatu metode untuk membangkitkan sinyal PWM dengan cara membandingkan sinyal referensi dengan sinyal pembawa. Sinyal PWM terbangkit ketika besarnya amplitudo sinyal referensi lebih besar dari amplitudo sinyal pembawa maka dihasilkan sinyal yang lebih tinggi dan jika amplitudo sinyal referensi lebih kecil dari amplitudo sinyal pembawa maka akan dihasilkan sinyal yang lebih rendah.

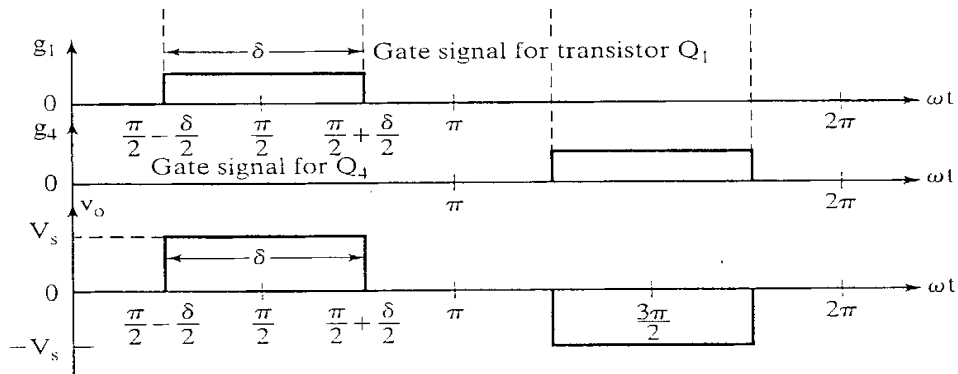
1. *Single Pulse Width Modulation (Single PWM)*

Single pulse width modulation adalah modulasi lebar pulsa yang dilakukan dengan membandingkan sinyal referensi dengan sinyal pembawa. Frekuensi sinyal referensi akan menentukan frekuensi tegangan keluaran. Indek modulasi *single pulse width modulation* dinyatakan dengan $M = A_r / A_c$. A_r merupakan sinyal referensi, sedangkan A_c adalah sinyal pembawa.



Gambar 2.15 Pembangkitan sinyal single PWM

Sinyal yang dihasilkan dari perbandingan antara sinyal referensi dengan sinyal pembawa digunakan untuk sinyal pemicu transistor inverter. Bentuk sinyal pemicu terlihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Sinyal pemicu transistor inverter

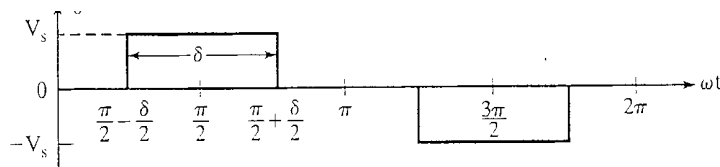
Tegangan keluaran rms dari inverter yang menggunakan teknik *single pulse width* dapat dinyatakan dengan persamaan

$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\frac{\pi-\delta}{2}}^{\frac{\pi+\delta}{2}} V_s^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$V_o = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}}$$

$$0^\circ \leq \delta \leq 180^\circ$$

$$0 \leq V_o \leq V_s$$



Gambar 2.17 Gelombang keluaran inverter single PWM

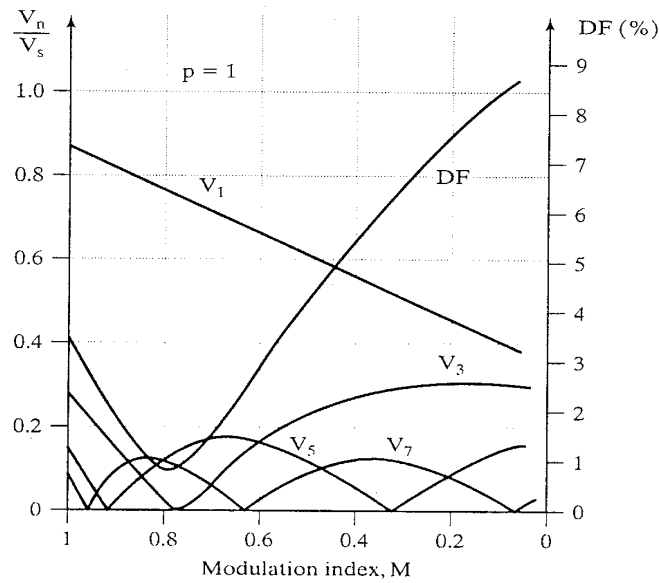
$$V_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin n\omega t$$

$$t_1 = \frac{\alpha_1}{\omega} = (1-M) \frac{T_s}{2}$$

$$t_2 = \frac{\alpha_2}{\omega} = (1+M) \frac{T_s}{2}$$

Lebar pulsa d atau sudut pulsa δ selama periode $T_s = T/2$ dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

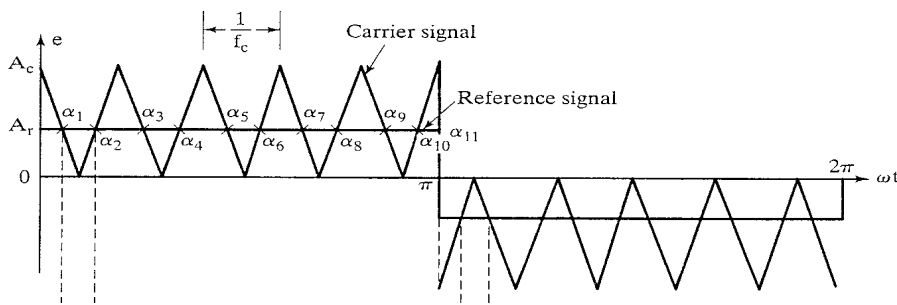
$$d = \frac{\delta}{\omega} = t_2 - t_1 = Mt_s$$



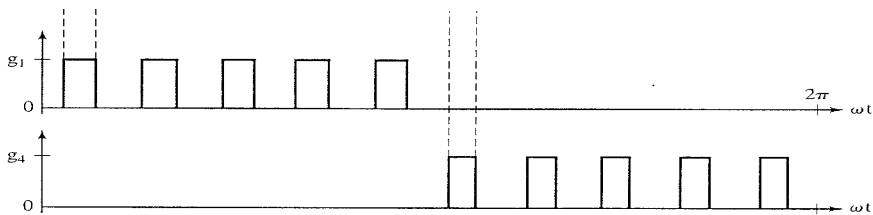
Gambar 2.18 Profil harmonisa inverter single PWM

2. Multiple-Pulse-Width-Modulation

Multiple PWM adalah teknik modulasi lebar pulsa yang juga dilakukan dengan membandingkan sinyal referensi dengan sinyal pembawa, terlihat pada gambar 2.19. Frekuensi tegangan keluaran inverter dengan teknik multiple PWM tergantung dari frekuensi sinyal referensi. Frekuensi dari gelombang pembawa juga menentukan jumlah pulsa setiap setengah periode. Penagturan indek modulasi akan menentukan besarnya tegangan keluaran inverter. Dalam multiple PWM semua pulsa mempunyai lebar yang sama.



Gambar 2.19 Pembangkitan sinyal multiple PWM



Gambar 2.20 Sinyal pemicu inverter multiple PWM

Jumlah pulsa untuk setengah periode dinyatakan dengan $p = f_c/2f_o = m_f/2$, dengan m_f merupakan rasio modulasi frekuensi. Harga rms tegangan keluaran dari inverter yang menggunakan teknik multiple PWM dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$V_o = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{\left(\frac{\pi-\delta}{p}\right)}^{\left(\frac{\pi+\delta}{p}\right)} V_s^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$0 \leq M \leq 1$$

$$0 \leq \delta \leq \frac{T}{2p}$$

$$0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{p}$$

$$0 \leq V_o \leq V_s$$

Lebar pulsa d atau sudut pulsa δ selama periode $T_s = T/2p$ dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$d = \frac{\delta}{\omega} = t_{m+1} - t_m = Mt_s$$

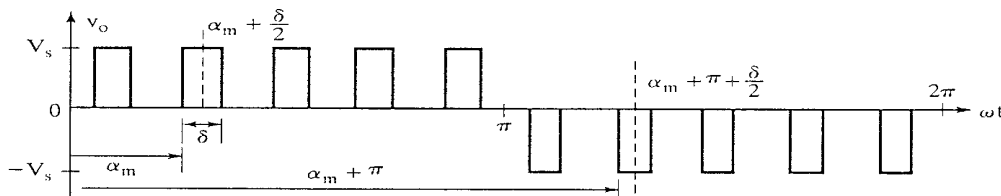
$$t_m = \frac{\alpha_m}{\omega} = (m - M) \frac{T_s}{2}$$

$$t_m = \frac{\alpha_m}{\omega} = (m - 1 + M) \frac{T_s}{2}$$

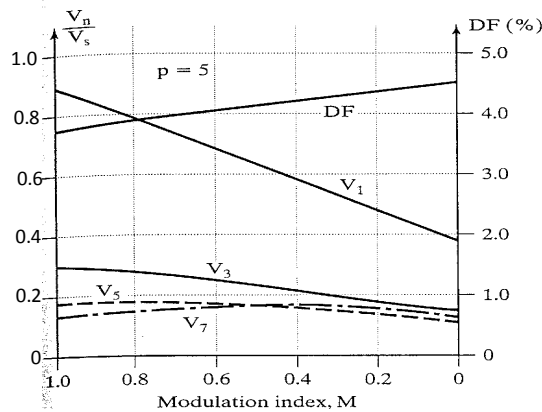
Deret fourier tegangan keluaran yang dihasilkan oleh inverter dengan teknik multiple PWM dapat dinyatakan sebagai berikut

$$V_o(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} B_n \sin n\omega t \dots\dots\dots (2.11)$$

$$B_n = \sum_{m=1}^{2p} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{4} \left[\sin n\left(\alpha_m + \frac{3\delta}{4}\right) - \sin n\left(\pi + \alpha_m + \frac{\delta}{4}\right) \right]$$



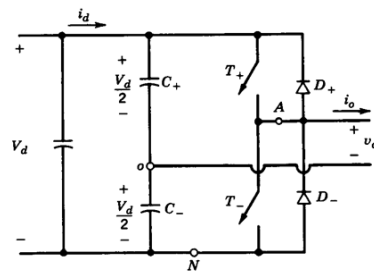
Gambar 2.21 Tegangan keluaran inverter multiple PWM



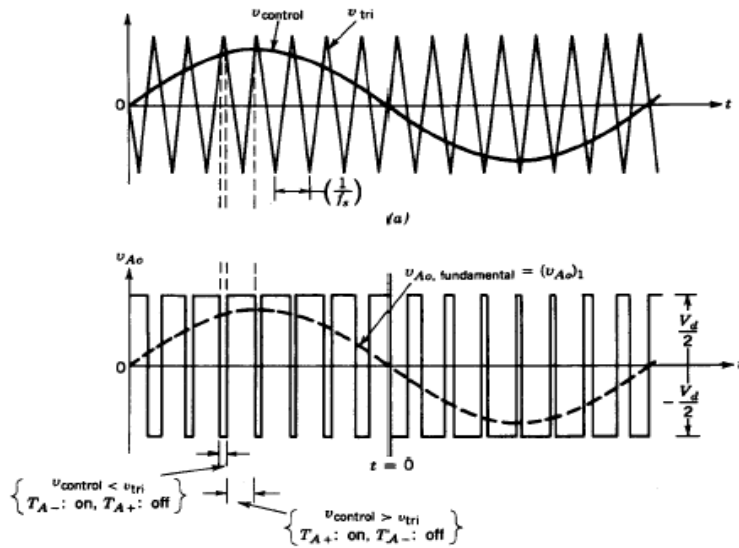
Gambar 2.22 Profile harmonisa inverter multiple PWM

3. Sinusoidal Pulse Width Modulation

Sinusoidal PWM merupakan metode membangkitkan sinyal PWM dengan cara membandingkan sinyal sinusoidal dengan sinyal segitiga. Sinyal sinusoidal merupakan sinyal referensi sedangkan sinyal segitiga merupakan sinyal pembawa.



Gambar 2.23 Inverter jembatan setengah gelombang dengan SPWM



Gambar 2.24 Pembangkitan sinyal SPWM

Dua buah kapasitor untuk menghasilkan titik o agar tegangan pada setiap kapasitor $V_d/2$ dapat dijaga konstan. Sakelar T_+ dan T_- merepresentasikan sakelar elektronis yang mencerminkan komponen semikonduktor daya. Sakelar T_+ dan T_- tidak boleh bekerja secara serempak/simultan, karena akan terjadi hubung singkat rangkaian. Kondisi On dan Off dari sakelar T_+ dan T_- ditentukan dengan teknik modulasi, dalam hal ini menggunakan prinsip PWM. Untuk menghasilkan tegangan luaran (V_o) satu fasa, terdapat tiga kondisi jika Sakelar T_+ dan T_- dioperasikan sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Keluaran inverter jembatan setengah gelombang

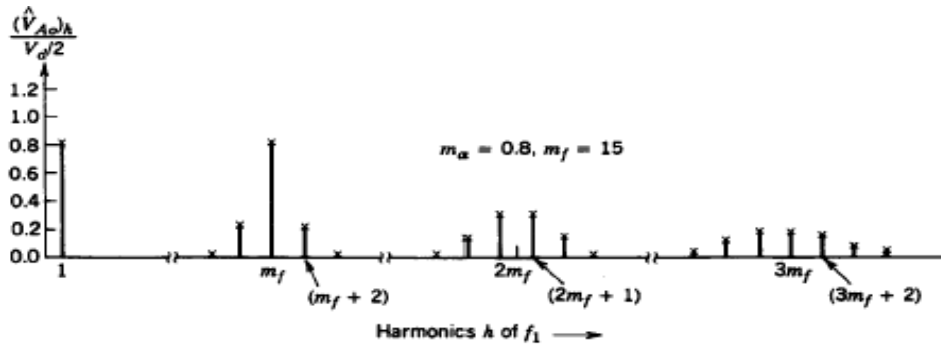
Kondisi Ke-	Kondisi	V_o	Komponen Yang Aktif
1	T_+ On dan T_- Off	$V_d/2$	T_+ jika $i_o > 0$ D_+ jika $i_o < 0$
2	T_- On dan T_+ Off	$-V_d/2$	D_- jika $i_o > 0$ T_- jika $i_o < 0$
3	T_+ dan T_- Off	$-V_d/2$ $V_d/2$	D_- jika $i_o > 0$ D_+ jika $i_o < 0$

Keluaran inverter dengan teknik SPWM berupa gelombang sinusoidal, tegangan dan frekuensi keluaran dapat dikontrol. Frekuensi switching inverter ditentukan oleh

- ✓ Sinyal kontrol sinusoidal yang digunakan untuk memodulasi rasio duty switching dan memiliki frekuensi f_1 .
- ✓ Bentuk gelombang segitiga.

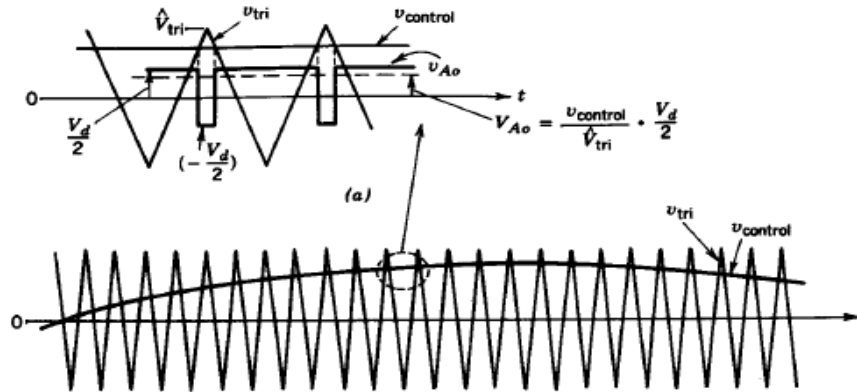
Besarnya tegangan keluaran berfluktuasi antara $V_d / 2$ dan $-V_d / 2$. Dua kapasitor yang sama dihubungkan secara seri melintasi input DC. Tegangan $V_d / 2$ adalah tegangan pada masing-masing kapasitor. Hal yang perlu diperhatikan pada inverter ini adalah amplitudo puncak dari komponen frekuensi fundamental V_{o1} yang dinyatakan dengan $m_a (= V_{control} / V_{tri})$ pada $V_d / 2$, serta harmonisasi pada bentuk gelombang tegangan keluaran inverter. Saklar T_+ dan T_- dikendalikan berdasarkan perbandingan $v_{control}$ dan v_{tri} . Bila $v_{control} > v_{tri}$, T_+ aktif dan $v_{Ao} = V_d / 2$. Bila $v_{control} < v_{tri}$, T_- aktif dan $v_{Ao} = -V_d / 2$. Karena dua saklar tidak pernah lepas secara bersamaan, tegangan keluaran v_{Ao} berfluktuasi antara $V_d / 2$ dan $-V_d / 2$. Pada gambar 2.24 memperlihatkan t_{on} merupakan lama waktu tegangan keluaran berada di level tinggi, sedangkan t_{off} merupakan lama waktu tegangan keluaran berada di rendah. Penjumlahan lama waktu dari

ton dengan t_{off} disebut dengan satu perioda gelombang. Dari besarnya t_{on} dan t_{off} ini maka dapat ditentukan besarnya perbandingan antara waktu ketika gelombang berada dalam keadaan level tinggi dibagi dengan total waktu antara gelombang dalam keadaan level tinggi dan gelombang dalam keadaan level rendah.



Gambar 2.25 Spektrum harmonisa tegangan V_{A0}

Tegangan harmonik yang dinormalisasi dengan amplitudo signifikan diplot pada gambar 2.26. Plot ini menunjukkan tiga hal penting, yaitu nilai puncak komponen frekuensi dasar adalah m_a pada $V_d / 2$. Harmonik muncul sebagai side band, dikunci di sekitar frekuensi switching. Harmonik m_f harus bilangan bulat ganjil. Amplitudo puncak komponen frekuensi dasar (V_{A0}) 1 adalah m_a pada $V_d / 2$. Hal ini dapat dijelaskan dengan terlebih dahulu mempertimbangkan konstanta $V_{control}$ seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.26 Komponen frekuensi fundamental V_{A0}

Tegangan output rata-rata (atau lebih spesifik lagi, tegangan keluaran dirata-rata selama satu periode waktu perpindahan $T_s = 1 / f_s$) V_{A0} bergantung pada rasio $V_{control}$ terhadap V_{tri} untuk V_d tertentu.

$$V_{Ao} = \frac{V_{control}}{\hat{V}_{tri}} \frac{V_d}{2}$$

$$V_{control} \leq \hat{V}_{tri}$$

Mari kita asumsikan bahwa $V_{control}$ sangat bervariasi selama periode waktu switching, yaitu m_f besar. Oleh karena itu, dengan mengasumsikan $V_{control}$ konstan selama periode waktu switching, gambar 2.26 dapat menunjukkan bagaimana nilai rata-rata sesaat dari V_{Ao} (rata-rata selama satu periode waktu perpindahan T_s) bervariasi dari satu periode waktu switching ke periode berikutnya. Ini pada dasarnya sama dengan komponen frekuensi dasar V_{Ao} .

$$v_{control} = V_{control} \sin \omega_1 t$$

$$(V_{Ao}) = \frac{V_{control} \sin \omega_1 t}{\hat{V}_{tri}} \frac{V_d}{2} = m_a \sin \omega_1 t \frac{V_d}{2} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$m_a \leq 1.0 \rightarrow (V_{Ao})_1 = m_a \frac{V_d}{2}$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa dalam PWM sinusoidal, amplitudo komponen frekuensi fundamental dari tegangan keluaran bervariasi secara linear dengan m_a . Oleh karena itu, kisaran m_a dari 0 sampai 1 adalah rentang linier. Harmonisasi pada bentuk gelombang tegangan keluaran inverter muncul sebagai sidebands, berpusat di sekitar frekuensi switching dan kelipatannya, yaitu sekitar harmonisa mf , $2mf$, $3mf$, dan seterusnya. Pola umum ini berlaku untuk semua nilai m_a di kisaran 0 sampai dengan 1. Amplitudo harmonik hampir terlepas dari mf , meskipun mf mendefinisikan frekuensi di mana terjadi. Secara teoritis, frekuensi di mana harmonisa tegangan terjadi dapat ditunjukkan sebagai

$$f_h = (jm_f \pm k) f_1$$

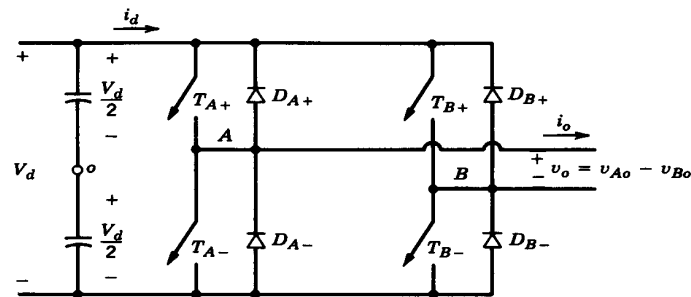
Yaitu, urutan harmonik h sesuai dengan sideband k -th dari j rasio modulasi frequency mf .

$$h = j (m_f) \pm k$$

Dimana frekuensi dasar sesuai dengan $h = 1$. Untuk nilai j ganjil, harmonik hanya ada untuk nilai k . Untuk nilai j , harmonisa hanya ada untuk nilai ganjil k .

Tabel 2.3 Harmonik V_{Ao} untuk m_f yang besar

h \ m_a	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Fundamental					
m_f	1.242	1.15	1.006	0.818	0.601
$m_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$m_f \pm 4$					0.018
$2m_f \pm 1$	0.190	0.326	0.370	0.314	0.181
$2m_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2m_f \pm 5$				0.013	0.033
$3m_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3m_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3m_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3m_f \pm 6$				0.016	0.044
$4m_f \pm 1$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4m_f \pm 3$	0.012	0.070	0.132	0.115	0.009
$4m_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4m_f \pm 7$				0.017	0.050



Gambar 2.27 Inverter jembatan gelombang penuh dengan PWM

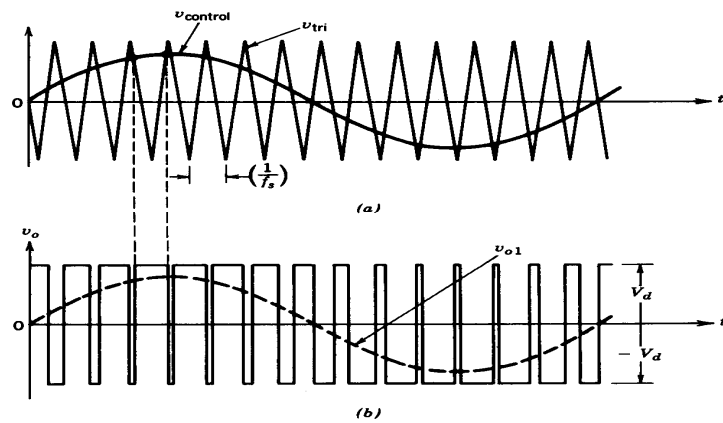
Seperti halnya pada rangkaian inverter setengah-jembatan di atas, dalam rangkaian ini diperlukan dua buah kapasitor untuk menghasilkan titik o agar tegangan pada setiap kapasitor $V_d/2$ dapat dijaga konstan. Terdapat dua sisi sakelar, yaitu: sakelar T_{A+} dan T_{A-} serta T_{B+} dan T_{B-} . Masing-masing sisi sakelar ini, sakelar T_{A+} dan T_{A-} dan atau T_{B+} dan T_{B-} , tidak boleh bekerja secara serempak/ simultan, karena akan terjadi hubung singkat rangkaian. Pada saat T_{A+} dalam kondisi aktif, maka $v_{Ao} = V_d/2$, dan pada saat T_{B-} dalam kondisi aktif, maka $v_{Bo} = -V_d/2$. Besarnya tegangan $v_{Bo}(t) = -v_{Ao}(t)$, sedangkan tegangan $v_o(t) = v_{Ao}(t) - v_{Bo}(t) = 2v_{Ao}(t)$. Puncak komponen frekuensi fundamental dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$V_{o1} = m_a V_d$$

Sedangkan rasio modulasi amplitudo dinyatakan dengan

$$m_a = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \leq 1.0$$

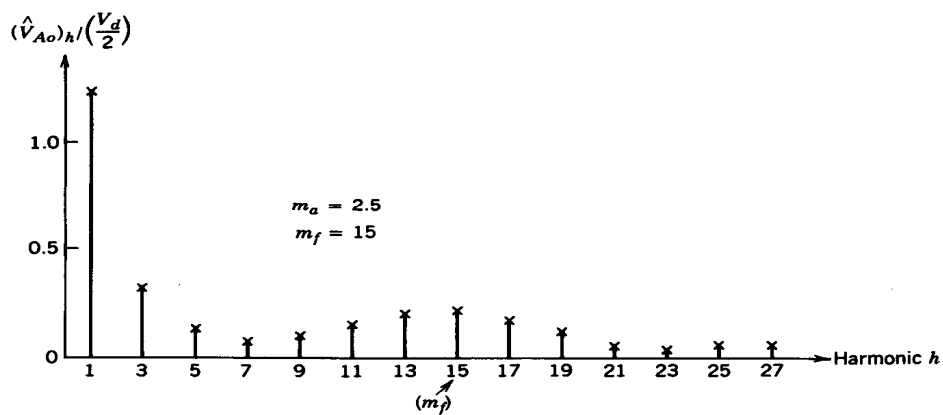
Tegangan keluaran yang dihasilkan dari switching transistor besarnya antara V_d dan $-V_d$.



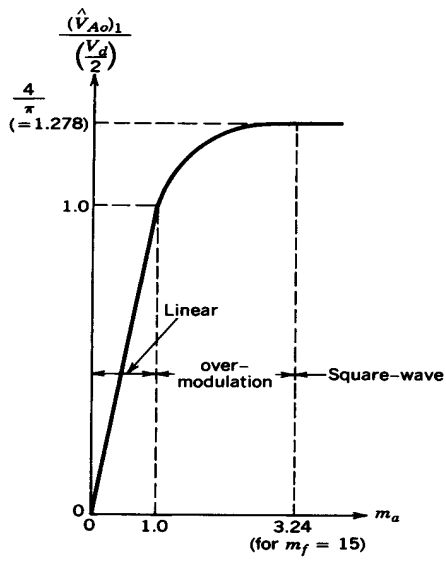
Gambar 2.28 Inverter dengan switching tegangan bipolar

Tabel 2.4 Keluaran inverter jembatan gelombang penuh

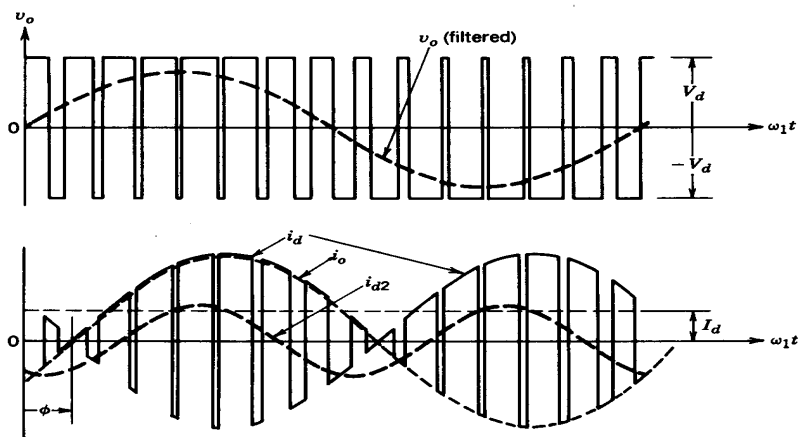
Kondisi Ke-	Kondisi	V_{aN}	V_{bN}	V_o	Komponen Yang Aktif
1	T_{A+} T_{B-} On dan T_{A-} T_{B+} Off	$V_d/2$	$-V_d/2$	V_d	T_{A+} T_{B-} jika $i_o > 0$ D_{A+} D_{B-} jika $i_o < 0$
2	T_{A-} T_{B+} On dan T_{A+} T_{B-} Off	$-V_d/2$	$V_d/2$	V_d	T_{A-} T_{B+} jika $i_o < 0$ D_{A-} D_{B+} jika $i_o > 0$
3	T_{A+} T_{B+} On dan T_{A-} T_{B-} Off	$V_d/2$	$V_d/2$	0	T_{A+} D_{B+} jika $i_o > 0$ D_{A+} T_{B+} jika $i_o < 0$
4	T_{A-} T_{B-} On dan T_{A+} T_{B+} Off	$-V_d/2$	$-V_d/2$	0	T_{A-} D_{B-} jika $i_o < 0$ D_{A-} T_{B-} jika $i_o > 0$
5	T_{A-} T_{B-} Off dan T_{A+} T_{B+} Off	$-V_d/2$	$V_d/2$	$-V_d$	D_{A-} D_{B-} jika $i_o > 0$ D_{A+} D_{B-} jika $i_o < 0$



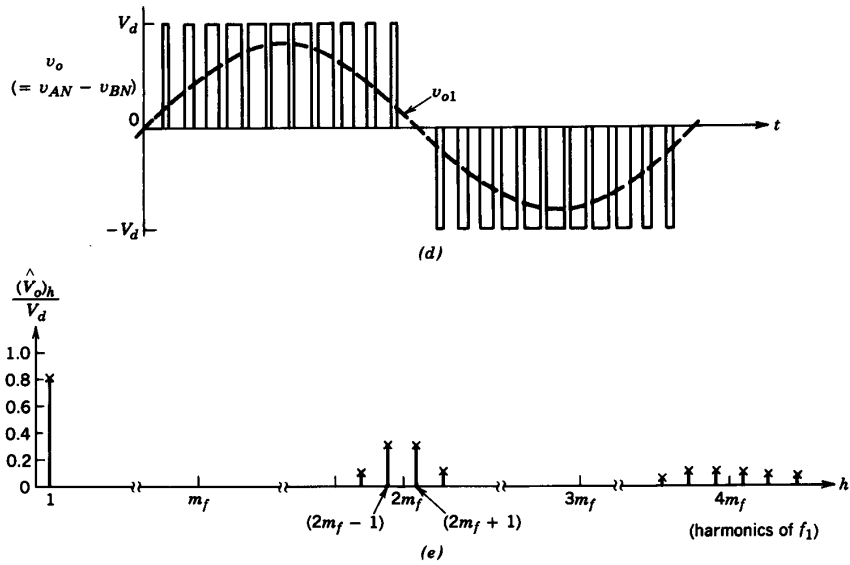
Gambar 2.29 Harmonik untuk overmodulasi pada $m_a = 2.5$ dan $m_f = 15$.



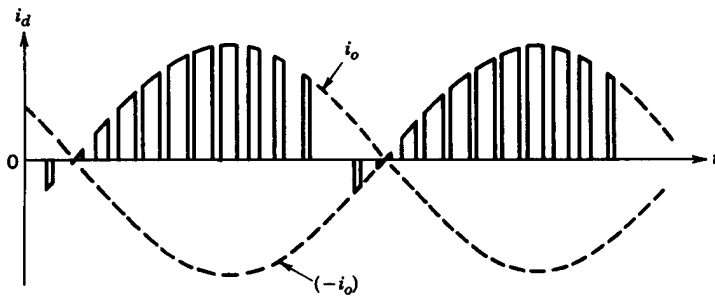
Gambar 2.30 Keluaran tegangan fundamental sebagai fungsi indeks modulasi



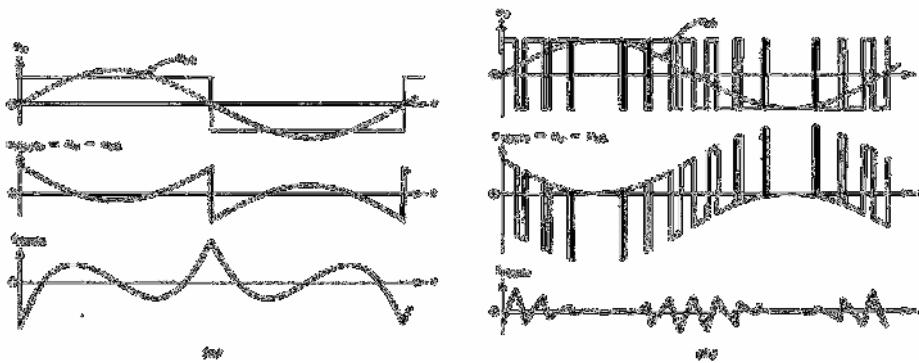
Gambar 2.31 Arus DC-side inverter satu fasa dengan PWM switching tegangan bipolar



Gambar 2.32 Switching tegangan unipolar inverter satu fasa



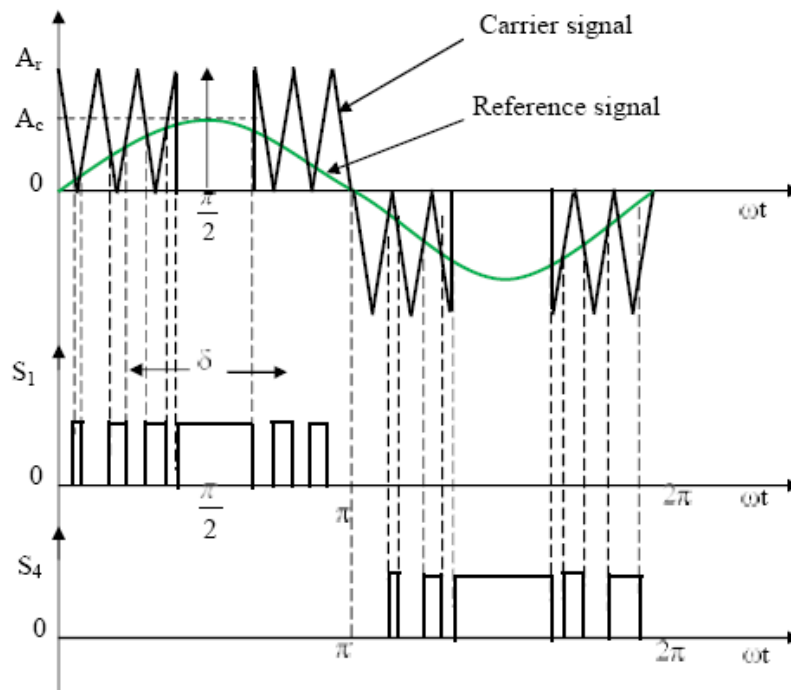
Gambar 2.33 Arus DC-side inverter satu fasa dengan PWM switching tegangan unipolar
 Untuk melihat perbandingan *ripple* tegangan keluaran inverter menggunakan switching gelombang persegi dengan switching gelombang PWM terlihat pada gambar..



Gambar 2.34 *Ripple* keluaran inverter (a) gelombang persegi (b) PWM bipolar

4. Modified-Sinusoidal-Pulse-Width-Modulation

Saat mempertimbangkan bentuk gelombang PWM sinusoidal, lebar pulsa tidak berubah secara signifikan dengan variasi indeks modulasi. Alasannya adalah karena karakteristik gelombang sinus, oleh karena itu teknik PWM sinusoidal ini dimodifikasi sehingga sinyal pembawa diterapkan pada saat interval pertama dan 60 per setengah siklus seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.35. Keunggulan utama teknik ini adalah peningkatan komponen fundamental yang meningkatkan karakteristik harmonik, mengurangi jumlah daya *switching*.

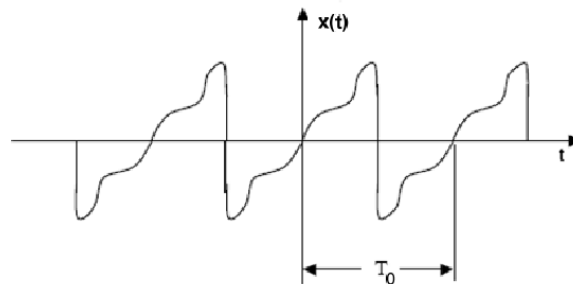


Gambar 2.35 Modifikasi sinusoidal PWM

2.5 Deret Fourier Sinyal Periodik

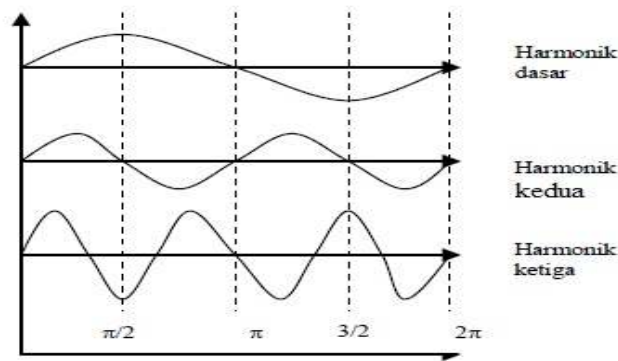
Sebuah isyarat periodis pasti akan mempunyai persamaan

$$y(t) = y(t + nT) \quad \text{dengan } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$



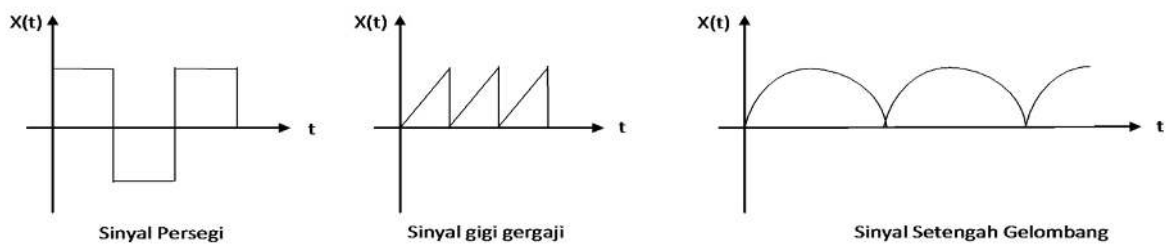
Gambar 2.36 Sinyal periodis

Untuk semua t (waktu) T adalah periode waktu ketika fungsi mulai terulang. Setiap fungsi yang periodis ternyata dapat dinyatakan dengan superposisi fungsi sinus dan kosinus. Telah diketahui bahwa $\sin \omega t$ fungsi trigonometri dan $\cos \omega t$ yang periodic dengan periode $T = 1/f = 2\pi/\omega$, dengan f adalah frekuensi dalam siklus per detik (Hz) dan ω adalah frekuensi sudut dalam radian / det. Gambar 1 menunjukkan fungsi periodis dengan $T_0 = 2\pi/\omega_0$: periode fundamental, dimana $\omega_0 =$ frekuensi fundamental. Harmonisa frekuensi adalah kelipatan ke- n dari frekuensi dasar (nf_0). Jika n adalah ganjil maka disebut harmonisa ganjil, dan jika n adalah genap maka disebut harmonisa genap.



Gambar 2.37 Harmonik pada sinyal

Banyak fungsi periodik yang bukan sinusoidal, sebagai contoh sinyal gelombang kotak, sinyal gigi-gergaji (digunakan pada perangkat osiloskop), dan sinyal hasil pengarahan dioda (pada untai penyearah, *converter*). Dengan menggunakan analisis fourier, sinyal-sinyal ini bisa dinyatakan sebagai penjumlahan dari sebuah sinyal sinus dengan harmonisa-harmonisinya.



Gambar 2.38 Bentuk gelombang isyarat

A. Bentuk Trigonometri Deret Fourier

Jika $x(t)$ merupakan fungsi periodik dengan perioda T , maka dengan teorema Fourier bisa dinyatakan dengan persamaan :

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan ini disebut dengan *deret fourier* untuk $x(t)$. Konstanta a_n dan b_n disebut koefisien fourier. Persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk :

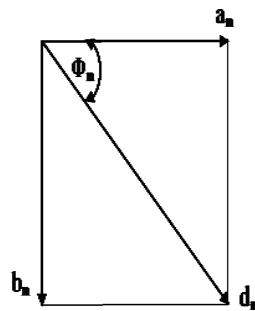
$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} d_n \cos(n\omega_0 t - \phi_n) \dots\dots\dots (2.14)$$

Koefisien a_n dan b_n berhubungan secara unik dengan d_n dan ϕ_n sebagai berikut :

$$a_n = d_n \cos \phi_n$$

$$b_n = d_n \sin \phi_n$$

Persamaan ini bisa digambarkan menggunakan hubungan fasor terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.39 Hubungan fasor pada isyarat

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \cos n\omega_0 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \sin n\omega_0 t dt$$

B. Bentuk Deret Fourier Eksponensial

Bentuk eksponensial dari deret fourier berbasis pada identitas Euler dapat dituliskan sebagai berikut

$$\cos n\omega_0 t = \frac{\exp(jn\omega_0 t) + (\exp(-jn\omega_0 t))}{2}$$

$$\sin n\omega_0 t = \frac{\exp(jn\omega_0 t) - (\exp(-jn\omega_0 t))}{2}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (1), akan diperoleh persamaan sebagai berikut

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [(a_n - jb_n) \exp(jn\omega_0 t) + (a_n + jb_n) \exp(-jn\omega_0 t)]$$

Persamaan ini dapat disederhanakan lagi menggunakan parameter sebagai berikut

$$c_0 = a_0$$

$$c_n = \frac{(a_n - jb_n)}{2}$$

$$c_{-n} = \frac{(a_n + jb_n)}{2}$$

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp(jn\omega_0 t)$$

Persamaan yang terakhir ini disebut persamaan sintesis karena dapat digunakan untuk menyintesis sebuah gelombang dari komponen fourier.

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \exp(-jn\omega_0 t) dt \dots\dots\dots (2.15)$$

Persamaan ini sering disebut persamaan analisis, karena dapat digunakan untuk menganalisa sebuah fungsi periodik ke dalam komponen – komponen fourier.

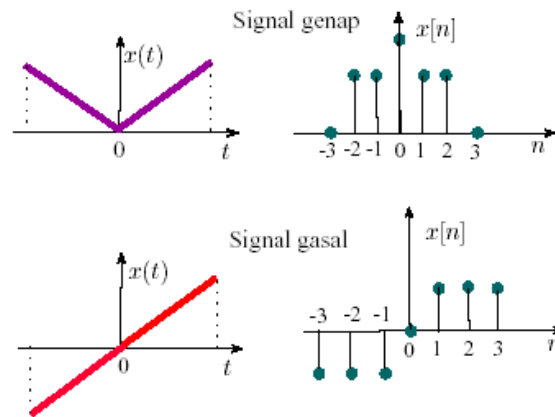
Perhitungan deret fourier akan lebih mudah jika bentuk gelombangnya simetris. Sebagai contoh deret fourier dari sebuah gelombang pesegi hanya memiliki harmonisa gasal dari bagian sinus saja sementara bagian cosinus dan bagian konstantanya tidak muncul. Sebuah fungsi genap adalah simetri pada sumbu vertikal pada $t = 0$, dan sebuah fungsi gasal antisimetri pada sumbu tersebut. Maka sebuah fungsi $\sin \omega t$ adalah fungsi gasal dan fungsi $\cos \omega t$ adalah fungsi genap. Oleh karena itu, deret fourier untuk sembarang fungsi yang gasal bisa memuat hanya bagian sinus saja dan deret fourier untuk sembarang fungsi yang genap bisa memuat hanya bagian cosinus dan mungkin juga sebuah konstanta. Nilai bagian konstanta akan nol jika luasan di daerah setengah siklus positif sama dengan luasan di daerah setengah siklus negatif. Jika sebuah sinyal periodik memiliki simetri genap atau gasal, maka untuk mengevaluasi koefisien fourier cukup menarik integral dari setengah perioda, tetapi hasil integrasinya harus dikalikan 2 untuk memperoleh hasil akhir. Sebuah fungsi periodik disebut memiliki simetri setengah-gelombang bila

$$x\left(t + \frac{T}{2}\right) = -x(t)$$

Jenis simetri ini dapat divisualisasikan dengan memperhatikan setengah-siklus negatif dari gelombang digeser setengah perioda maka akan memiliki “citra-cermin” dari setengah-siklus positif dari sumbu waktu. Sinyal dengan simetri ½ gelombang memiliki deret Fourier dengan

hanya harmonisa gasal saja. Jadi, sembarang harmonisa gasal akan melengkapi satu siklus penuh selama $\frac{1}{2}$ perioda dari gelombang dasar dan karena itu akan memenuhi persamaan berikut :

$$x\left(t + \frac{T}{2}\right) = x(t)$$

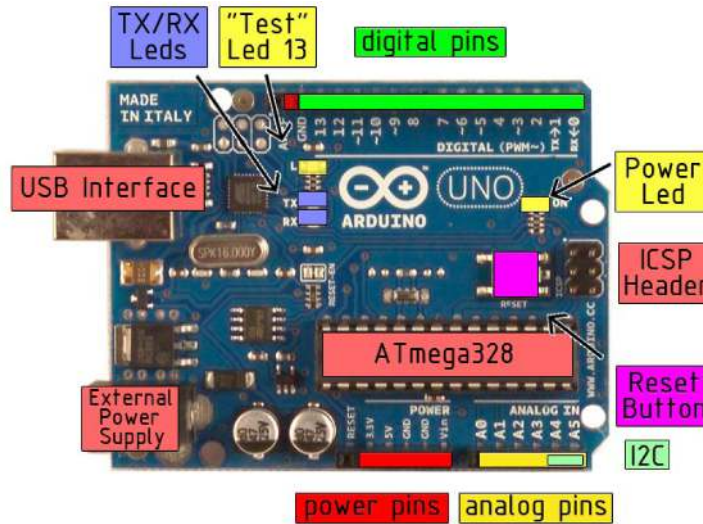


Gambar 2.40 Sinyal fungsi genap dan ganjil

2.6 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino dikatakan sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “platform” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory* microcontroller. Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware* arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* arduino memiliki bahasa pemrograman C. Memori yang dimiliki oleh Arduino Uno sebagai berikut : *Flash Memory* sebesar 32KB, SRAM sebesar 2KB, dan EEPROM sebesar 1KB. *Clock* pada *board* Uno menggunakan XTAL dengan frekuensi 16 Mhz. Dari segi daya, Arduino Uno membutuhkan tegangan aktif kisaran 5 volt, sehingga Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB. Arduino Uno memiliki 28 kaki yang sering digunakan. Untuk Digital I/O terdiri dari 14 kaki, kaki 0 sampai kaki 13, dengan 6 kaki mampu memberikan output PWM (kaki 3,5,6,9,10,dan 11). Masing-masing dari 14 kaki digital di Uno beroperasi dengan tegangan maksimum 5 volt dan dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA. Untuk Analog *Input* terdiri dari 6 kaki, yaitu kaki A0 sampai kaki A5. Kaki Vin merupakan

tempat *input* tegangan saat menggunakan sumber daya eksternal selain USB dan adaptor. Spesifikasi arduino Uno dapat dilihat pada tabel 2.5.



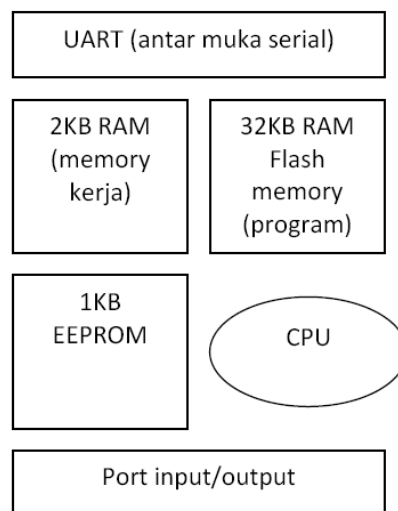
Gambar 2.41 Arduino Uno

Tabel 2.5 Spesifikasi Arduino Uno

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

ATMega328 merupakan mikrokontroler keluarga AVR 8 bit. Beberapa tipe mikrokontroler yang sama dengan ATMega8 ini antara lain ATMega8535, ATMega16, ATMega32, ATMega328, yang membedakan antara mikrokontroler antara lain adalah, ukuran memori, banyaknya GPIO (pin input/output), peripheral (USART, timer, counter, dll). Dari segi ukuran fisik, ATMega328

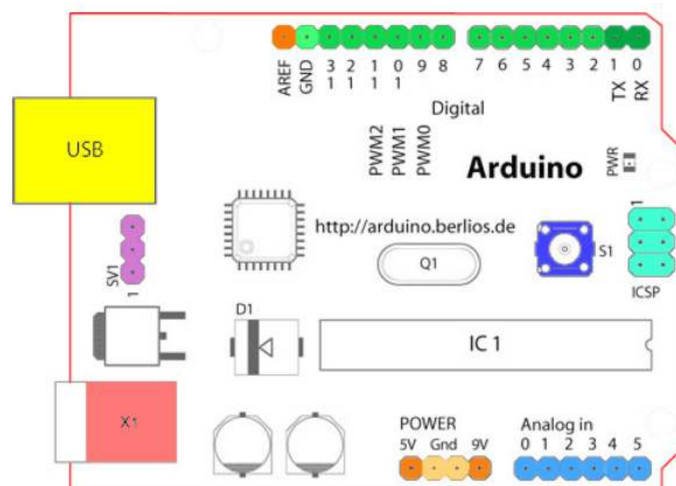
memiliki ukuran fisik lebih kecil dibandingkan dengan beberapa mikrokontroler di atas. Namun untuk segi memori dan periperial lainnya ATmega328 tidak kalah dengan yang lainnya karena ukuran memori dan periperialnya relatif sama dengan ATmega8535, ATmega32, hanya saja jumlah GPIO lebih sedikit dibandingkan mikrokontroler di atas. Untuk memberikan gambaran mengenai apa saja yang terdapat di dalam sebuah microcontroller, pada gambar berikut ini diperlihatkan contoh diagram blok sederhana dari microcontroller ATmega328 (dipakai pada Arduino Uno).



Blok-blok di atas dijelaskan sebagai berikut:

- ✓ *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)* adalah antar muka yang digunakan untuk komunikasi serial seperti pada RS-232, RS-422 dan RS-485.
- ✓ 2KB RAM pada memory kerja bersifat *volatile* (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh variable-variabel di dalam program.
- ✓ 32KB RAM flash memory bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan program yang dimuat dari komputer. Selain program, flash memory juga menyimpan *bootloader*. **Bootloader** adalah program inisiasi yang ukurannya kecil, dijalankan oleh CPU saat daya dihidupkan. Setelah bootloader selesai dijalankan, berikutnya program di dalam RAM akan dieksekusi.
- ✓ 1KB EEPROM bersifat non-volatile, digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan. Tidak digunakan pada papan Arduino.
- ✓ *Central Processing Unit (CPU)*, bagian dari microcontroller untuk menjalankan setiap instruksi dari program.

- ✓ Port input/output, pin-pin untuk menerima data (input) digital atau analog, dan mengeluarkan data (output) digital atau analog.
- ✓ Uno Arduino memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lain. ATmega328 ini menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega16U2 pada saluran *board* ini komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai com port virtual untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* Arduino menggunakan USB *driver* standar COM, dan tidak ada *driver* eksternal yang dibutuhkan. Namun, pada Windows, file. Inf diperlukan. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board* Arduino. RX dan TX LED di *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dan koneksi USB ke komputer. ATmega328 ini juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Fungsi ini digunakan untuk melakukan komunikasi interface pada sistem.



Gambar 2.42 Papan Arduino Uno

IDE Arduino adalah software yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino terdiri dari:

- ✓ *Editor* program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa Processing.
- ✓ *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa Processing) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah microcontroller tidak akan bisa memahami bahasa Processing. Yang bisa dipahami oleh microcontroller adalah kode biner. Itulah sebabnya compiler dalam hal ini diperlukan.

- ✓ *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari Jomputer ke dalam memory di dalam papan Arduino.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Blink | Arduino 0022". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for running, stopping, saving, opening, and uploading. The main text area displays the following code:

```
/*  
Blink  
Turns on an LED on for one second, then off for one se  
  
This example code is in the public domain.  
*/  
  
void setup() {  
  // initialize the digital pin as an output.  
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:  
  pinMode(13, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
```

Gambar 2.43 Tampilan IDE Arduino

2.7 Zelio Smart Relay

Smart relay menggantikan logika dan pengerjaan rangkaian kontrol relay yang merupakan instalasi langsung pada aplikasi sistem otomasi sederhana. Dengan smart relay rangkaian kontrol cukup dibuat secara software. Keunggulan menggunakan Zelio Smart Relay:

1. Sangat mudah untuk diimplementasikan dan waktu implementasi proyek lebih cepat.
2. Bersifat fleksibel dan sangat handal.
3. Mudah dalam modifikasi (dengan software).
4. Lebih ekonomis daripada PLC untuk aplikasi yang sederhana.
5. Memerlukan waktu training lebih pendek.

Zelio adalah Smart Relay yang dibuat oleh Schneider Telemecanique. Tersedia dalam 2 model yaitu model compact dan model modular. Jika diperlukan dapat ditambahkan modul I/O tambahan (expansion I/O modules), baik I/O diskrit maupun I/O analog. Beberapa pilihan lain juga dapat ditambahkan (Modul komunikasi MODBUS dan Memory). Keunggulan menggunakan Zelio Smart Relay adalah:

1. Tersedianya modul komunikasi MODBUS sehingga Zelio dapat menjadi slave PLC dalam suatu jaringan PLC.
2. Terdapat fasilitas Fast Counter (hingga 1KHz).
3. Dapat diprogram dengan menggunakan Ladder dan FBD.

4. Terdapat 16 buah Timer (11 macam), 16 buah Counter, 8 Buah blok fungsi Clock (setiap blok fungsi memiliki 4 kanal), automatic summer/winter time switching.

5. Dapat ditambahkan 1 modul I/O tambahan.

Zelio Smart Relay memiliki dua jenis input, yaitu input discrete/ input digital (On/Off) dan input analog (0-10 VDC). Untuk Zelio Smart Relay yang sumber teganganya DC biasanya memiliki kedua jenis input ini (input discrete dan input analog) kecuali pada tipe SR* A**BD yang hanya memiliki input discrete saja. Sedangkan pada Zelio Smart Relay yang sumber teganganya AC (tipe SR* ***B atau SR***FU) semuanya hanya memiliki input discrete.



Gambar 2.44 Zelio Smart Relay

Tabel 2.6 Jenis dan tipe Zelio model Compact

Power Supply	Jumlah I/O	Input Diskrit	Input Analog 0 - 10 V	Output Diskrit	Clock	Reference
12 VDC	12	8	-4	4 - Relay	Yes	SR2B121JD
	20	12	-6	8 - Relay	Yes	SR2B201JD
24 VDC	10	6	-	4 - Relay	No	SR2A101BD
	12	8	-4	4 - Relay	Yes	SR2B121BD
	12	8	-4	4 - Transistor	Yes	SR2B122BD
	20	12	-2	8 - Relay	No	SR2A201BD
	20	12	-6	8 - Relay	Yes	SR2B201BD
	20	12	-6	8 - Transistor	Yes	SR2B202BD
24 VAC	12	8	-	4 - Relay	Yes	SR2B121B
	20	12	-	8 - Relay	Yes	SR2B201B
100-240 VAC	10	6	-	4 - Relay	No	SR2A101FU
	12	8	-	4 - Relay	Yes	SR2B121FU
	20	12	-	8 - Relay	No	SR2A201FU
	20	12	-	8 - Relay	Yes	SR2B201FU

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian kuantitatif menurut Neuman bahwa penelitian kuantitatif merupakan suatu cara yang memulainya dari hal – hal yang bersifat umum tentang suatu isu atau permasalahan yang ada atau yang sedang terjadi saat sekarang atau tentang kecenderungan suatu hal. Kebutuhan masyarakat pada rumah tinggal dan industri dalam pemakaian energi listrik selain sumber listrik PLN pada saat sekarang sangat dibutuhkan, sehingga ketergantungan terhadap listrik PLN dapat dikurangi. Jadi penelitian ini mengangkat suatu permasalahan pemakaian energi listrik menggunakan sumber DC aki, khususnya untuk rumah tinggal.

Penelitian yang akan dilakukan merupakan jenis penelitian eksperimental, dimana pada penelitian ini akan membuktikan hipotesa berdasarkan pengujian terhadap beban dengan menggunakan *tool* yang berupa suatu algoritma dan perangkat keras.

- a Uji coba dilakukan menggunakan beban motor pompa air satu fasa dengan kapasitas $\frac{1}{4}$ Hp, lampu rumah, kulkas, dan beban induktif lainnya.
- b Pengujian beban dengan sumber inverter satu fasa dibandingkan dengan sumber listrik PLN
- c Hasil penelitian adalah berupa perangkat keras inverter satu fasa dan sistem ATS berbasis zelio SR2B121BD.

3.2. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini rangkaian inverter satu fasa, pengendali ATS (*Automatic Transfer Switch*), dan beban pompa. Inverter satu fasa menggunakan rangkaian jembatan transistor gelombang penuh dan pengendali ATS menggunakan zelio SR2B121BD, sedangkan beban pompa menggunakan motor induksi satu fasa dengan kapasitor running.

3.3. Metode Pengambilan Sampel

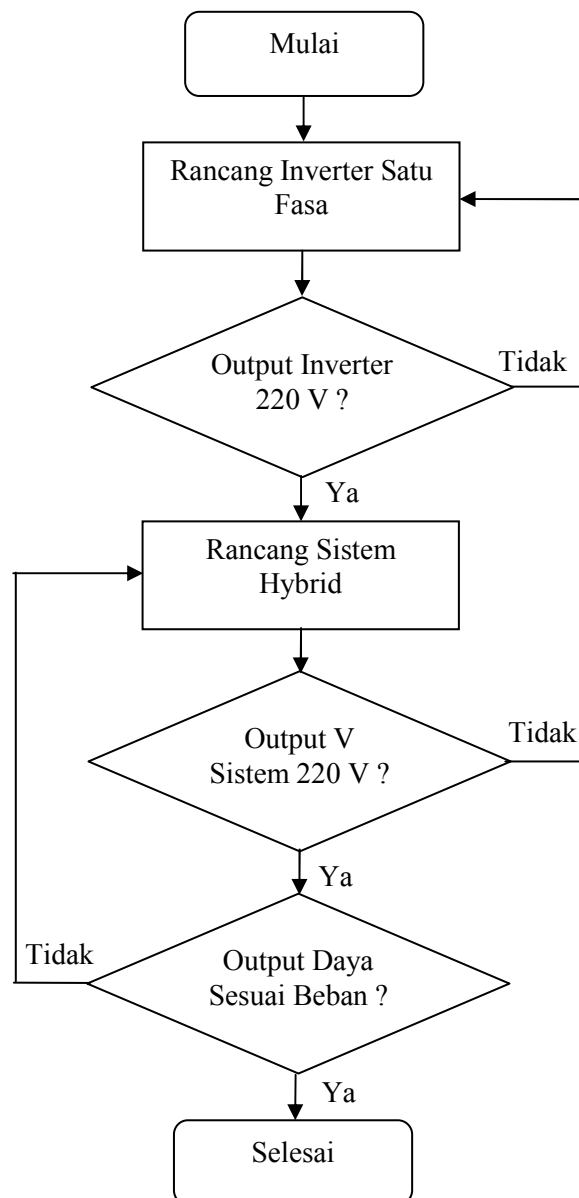
Pengambilan sampel dilakukan dengan menguji keluaran inverter satu fasa dan sistem ATS. Beberapa beban diberikan ke inverter satu fasa untuk mengetahui kinerja atau stabilitas sistem hybrid yang digunakan. Data yang diperoleh berupa amplitudo tegangan beban, grafik perubahan tegangan beban, dan kapasitas maksimum beban.

3.4. Instrumen Penelitian

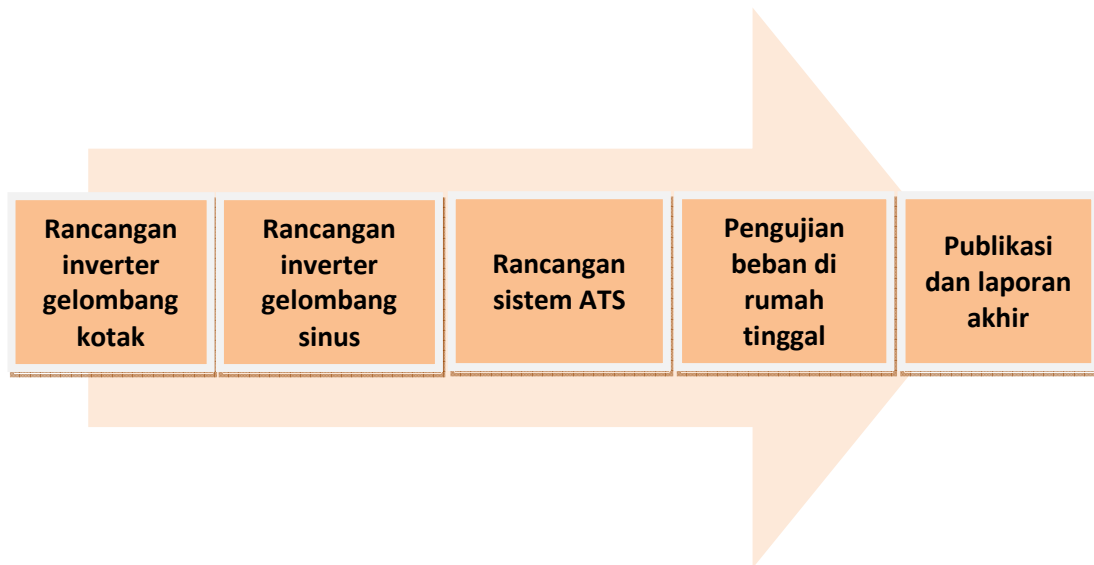
Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel atau besaran yang meliputi :

1. Amplitudo tegangan beban
2. Grafik perubahan tegangan beban.
3. Kapasitas maksimum beban.

3.5. Rancangan Penelitian



Gambar 3.1 Algoritma penelitian.



Gambar 3.2 Alur rencana penelitian

3.6. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menggunakan alat ukur sebagai berikut :

1. Volt meter untuk mengukur amplitudo tegangan pada beban.
2. Ampere meter untuk mengukur besarnya arus pada beban.
3. Osiloskop untuk melihat bentuk gelombang keluaran inverter.

Analisa data dilakukan untuk mengetahui kualitas sumber listrik satu fasa yang dihasilkan dan untuk mengukur efisiensi sistem hybrid.

Tahap terakhir adalah tahap penyusunan atau pembuatan laporan penelitian. Tahap penyusunan laporan dilakukan pada saat penelitian sudah berjalan pada bulan ke dua dari empat bulan pelaksanaan penelitian. Selain itu juga dilakukan publikasi pada jurnal internasional

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian sistem hybrid ini digunakan dua jenis *inverter* satu fasa berdasarkan bentuk gelombang keluarannya. Pada *inverter* dengan bentuk gelombang kotak hanya digunakan untuk beban lampu/ penerangan dalam rumah tinggal, sedangkan *inverter* dengan bentuk gelombang sinusoidal dapat digunakan untuk beban lampu dan beban induktif. Beban induktif dalam rumah tinggal adalah beban pompa air, kulkas, AC, dan mesin cuci.

4.1. Inverter Satu Fasa Gelombang Kotak

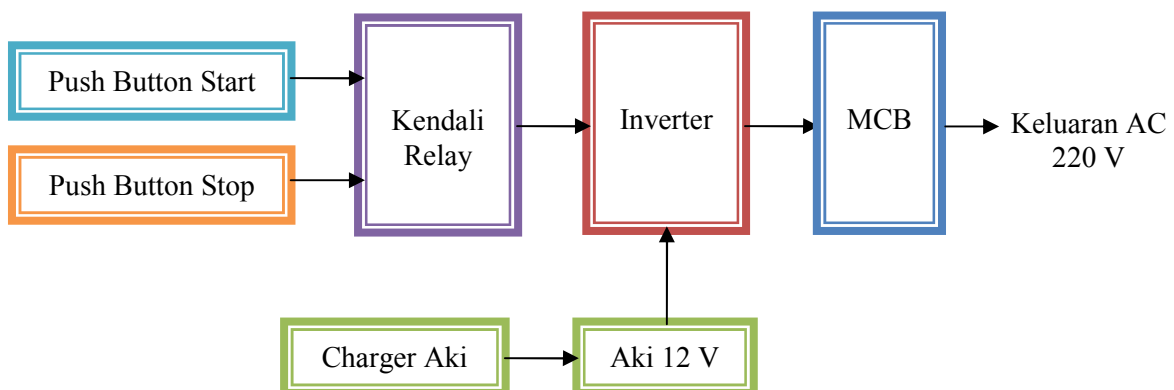
A. Hasil

Inverter satu fasa gelombang kotak menggunakan transistor IRFZ44N dan transformator 10 A untuk menaikkan tegangan AC dari 15 V menjadi 220 V. Untuk pembangkit gelombang PWM digunakan IC NE 555, yang berfungsi untuk sinyal *switching* transistor inverter.



Gambar 4.1 Inverter satu fasa gelombang kotak

Dalam sistem pengaturan penggunaan sumber listrik satu fasa dari inverter dengan daya 750 watt, digunakan sistem pengendalian secara manual berdasarkan blok diagram pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Blok diagram sistem pengaturan inverter gelombang kotak



Gambar 4.3 Charger aki 12 V dc.



Gambar 4.4 Kendali relay 12 V dc



Gambar 4.5 Rangkaian sistem kendali inverter gelombang kotak

Tabel 4.1 Pengujian beban inverter gelombang kotak

No	Beban	Tegangan (V)
1	Lampu 3 x 50 watt	220
2	Lampu 3 x 50 watt	220
3	Lampu 9 x 50 watt	219
4	Kipas angin 150 watt+ lampu 450 watt	210

B. Pembahasan

Dalam blok diagram tersebut digunakan dua buah relay dc 12 V, yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan sumber aki 12 V ke inverter. Selain itu juga untuk pengaturan start dan stop inverter. Pada sistem ini juga dilengkapi charger aki yang bekerja secara automatic dalam pengisian proses aki. Dengan demikian kapasitas aki akan selalu terjaga penuh, sehingga tegangan keluaran inverter 220 V akan selalu ada pada beban. Berdasarkan tabel 4.1 terlihat bahwa tegangan inverter gelombang kotak hanya stabil jika menggunakan beban lampu (beban resistif), sedangkan untuk penggunaan beban kipas angin (beban induktif) tegangan inverter gelombang kotak mengalami penurunan. Jadi inverter gelombang kotak hanya cocok untuk penggunaan beban lampu saja, karena semakin besar beban induktif yang digunakan maka tegangan keluaran inverter akan semakin turun.

4.2. Inverter Satu Fasa Gelombang Sinusoidal

A. Hasil



Gambar 4.6 Panel inverter satu fasa gelombang sinusoidal



Gambar 4.7 Charge controller Aki dari solar sell

Inverter gelombang sinusoidal menggunakan komponen mikrokontroler arduino uno. Untuk penggunaan inverter gelombang sinusoidal juga dilengkapi dengan charge controller, yang berfungsi untuk mengatur pengisian aki dari solar sell. Digunakan charge controller sebesar 30 A untuk sesuai dengan kapasitas aki yang digunakan, sedangkan besarnya solar sell untuk penelitian ini 100 Wp.



Gambar 4.8 Inverter gelombang sinusoidal

Tabel 4.2 Pengujian beban inverter sinusoidal

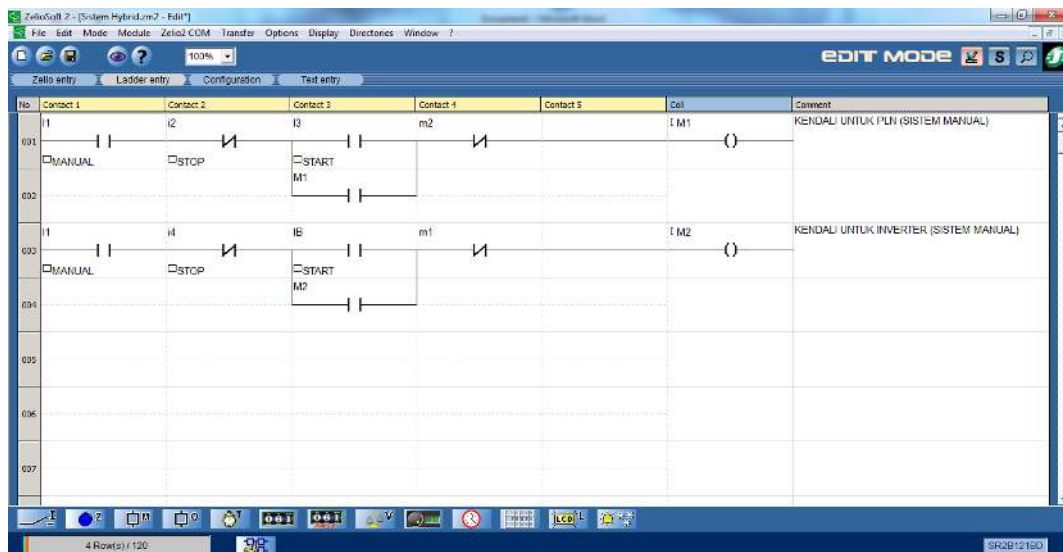
No	Beban	Tegangan (V)
1	Lampu 9 x 50 watt	220
2	Pompa air 150 watt	220
3	Kulkas 450 watt	219
4	Kipas angin 150 watt+ lampu 450 watt	220

B. Pembahasan

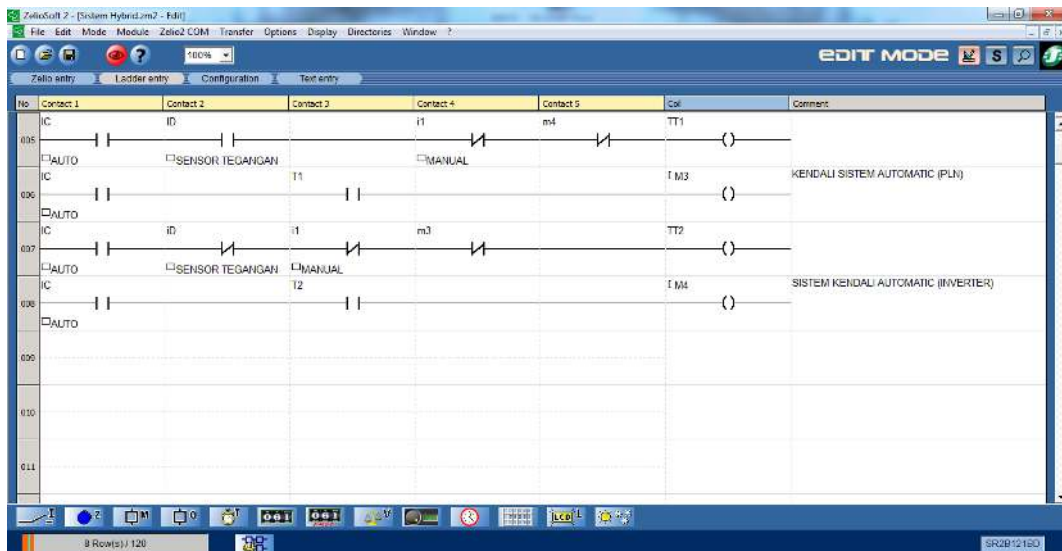
Tegangan keluaran inverter gelombang sinusoidal tetap stabil untuk perubahan jenis beban, hal ini sesuai dengan hasil pengukuran pada tabel 4.2. Inverter jenis ini dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam rumah tinggal, khususnya untuk jenis beban induktif. Inverter gelombang sinusoidal yang digunakan mempunyai kapasitas maksimum 1000 watt.

4.3. Automatic Transfer Switch (ATS)

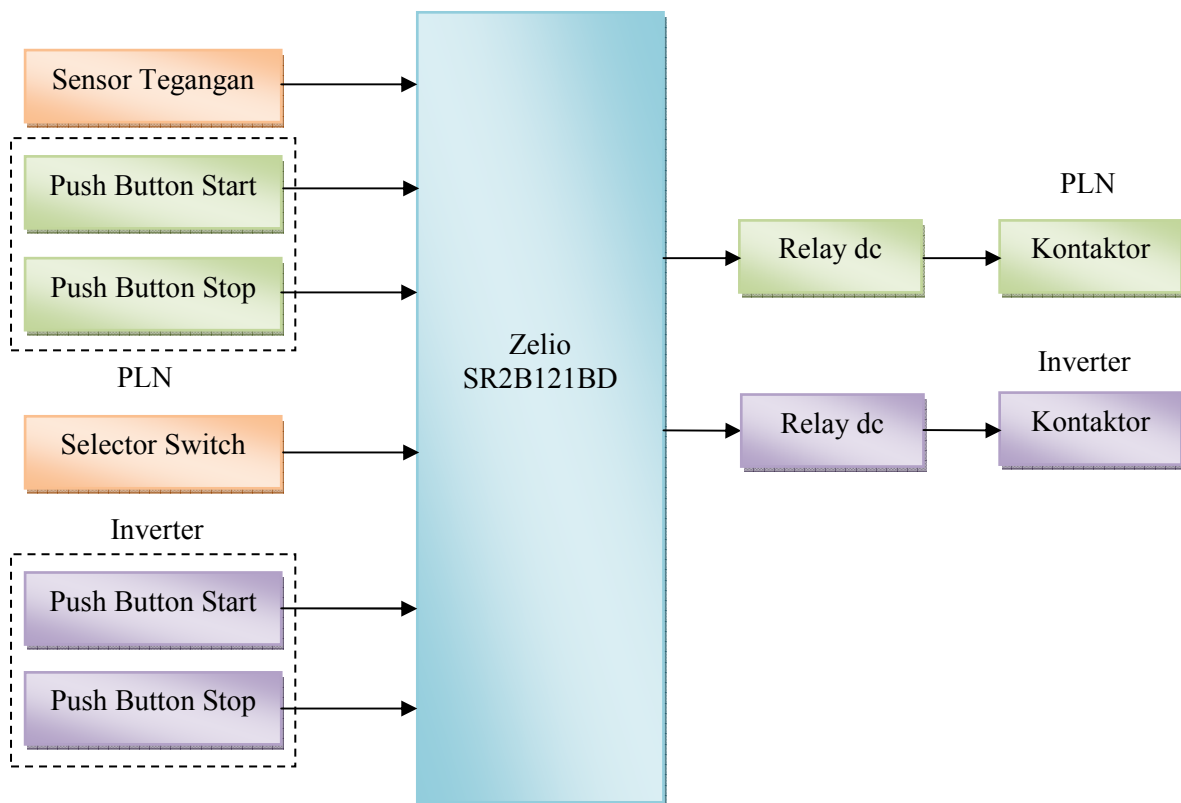
A. Hasil



Gambar 4.9 LD Sistem manual



Gambar 4.10 LD Sistem automatic



Gambar 4.11 Blok diagram sistem ATS



Gambar 4.12 Rangkaian utama ATS.

B. Pembahasan

Automatic transfer switch digunakan untuk melakukan pergantian penggunaan sumber listrik satu fasa 220 V. Komponen utama *switch* yang digunakan dalam penelitian ini memakai kontaktor schneider, sedangkan komponen pengendali pengaturan pergantian sumber listrik satu fasa menggunakan zelio SR2B121BD. Sistem bekerja secara otomatis pada saat *selector switch* pada posisi auto. Bekerjanya sistem baik secara manual maupun secara auto di atur dalam program LD (Ladder Diagram) zelio. Dalam penelitian ini untuk sistem *automatic transfer switch* menggunakan inverter dengan kapasitas 1300 watt. Dalam program LD terlihat dua jenis penyedia sumber listrik satu fasa 220 V AC, yaitu sumber listrik PLN dan sumber listrik dari inverter. *Push button* yang digunakan sesuai dengan sumber listrik satu fasa yang akan digunakan. *Push button* PLN digunakan untuk menyalakan dan mematikan sumber listrik satu fasa PLN, sedangkan *push button inverter* juga digunakan untuk menyalakan dan mematikan sumber listrik satu fasa dari keluaran *inverter*. *Selector switch* berfungsi untuk mengatur cara kerja alat secara manual atau *automatic*. Jika *selector switch* pada posisi manual, maka pemakaian sumber listrik satu fasa tergantung pada *push button* (*push button* PLN atau *push button inverter*). Pada saat *selector switch* pada posisi *automatic* maka sensor tegangan akan mendeteksi sumber listrik PLN. Jika sumber listrik PLN mati maka dalam waktu 10 detik kontaktor untuk sumber listrik *inverter* akan bekerja. Demikian pula sebaliknya jika listrik PLN menyala, maka kontaktor *inverter* akan mati dan dalam waktu 5 detik kontaktor PLN akan menyala. Selisih waktu bekerjanya kontaktor PLN dan kontaktor *inverter* adalah 5 detik. Relay DC digunakan sebagai *interface* antara zelio dan kontaktor, selain itu juga berfungsi sebagai pelindung zelio jika terjadi hubung singkat pada kontaktor.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Tegangan inverter gelombang kotak hanya stabil jika menggunakan beban lampu (beban resistif), sedangkan untuk penggunaan beban kipas angin (beban induktif) tegangan inverter gelombang kotak mengalami penurunan. Jadi inverter gelombang kotak hanya cocok untuk penggunaan beban lampu saja, karena semakin besar beban induktif yang digunakan maka tegangan keluaran inverter akan semakin turun.
2. Tegangan keluaran inverter gelombang sinusoidal tetap stabil untuk perubahan jenis beban. Inverter jenis ini dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam rumah tinggal, khususnya untuk jenis beban induktif.
3. Sistem ATS yang digunakan bekerja sesuai dengan program zelio. Jika sumber listrik PLN mati maka dalam waktu 10 detik kontaktor untuk sumber listrik inverter akan bekerja. Demikian pula sebaliknya jika listrik PLN menyala, maka kontaktor inverter akan mati dan dalam waktu 5 detik kontaktor PLN akan menyala. Selisih waktu bekerjanya kontaktor PLN dan kontaktor inverter adalah 5 detik.

5.2 Saran

1. Untuk mengatasi masalah stabilitas tegangan keluaran inverter dapat dikembangkan menggunakan sistem pengendali berumpan balik, dengan menggunakan sensor tegangan pada keluaran inverter. Dengan cara ini tegangan DC pada masukan inverter harus selalu pada level tegangan yang tetap.
2. Inverter gelombang sinusoidal dapat dikembangkan untuk kapasitas yang besar, sehingga ketersediaan listrik dalam rumah tinggal tidak tergantung sepenuhnya dari PLN.
3. Untuk membuat inverter gelombang sinusoidal dapat dikembangkan menggunakan FPGA, sehingga tegangan keluaran inverter dapat secara langsung bekerja dengan sistem *automatic* tanpa harus membuat rangkaian *automatic*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Biodata Ketua dan Anggota Peneliti

Ketua

1. NamaLengkap : Adhi Kusmantoro, ST, MT
2. Tempat/ TanggalLahir : Semarang/ 19 April 1973
3. Alamat/No.TelpRumah/HP : Jl. Taman Borobudur Timur V/8 Semarang
(024) 7600855/ 085743773583
4. Email : adhiteknik@gmail.com
5. JenisKelamin : Laki - laki
6. Jurusan : Teknik Elektro
7. NPP /Golongan/ Pangkat : 147301432/ III c/ Penata Muda
8. Jabatan Fungsional : Lektor
9. Bidang Keahlian : Energi Listrik
10. Pengalaman Penelitian :

NO	JUDUL PENELITIAN	BIAYA	TAHUN
1	Perancangan inverter dengan PWM analog	USM	2001
2	Pengendali pompa dengan VB dan mikrokontroler AT89S51	Dikti	2005
3	Perancangan filter aktif pada penyearah jembatan dioda	USM	2006
4	Pengendalian inverter dengan PPI 8255	USM	2006
5	Perancangan pengendali pompa banjir dengan PLC CPM2A	USM	2007
6	Pengendali ATS AMF Genset 50 KVA dengan Zelio Logic	UKRIDA	2010
7	Perancangan PLTMH Jantur Tabalas	PGM	2012
8	Pemakaian infrared thermography pada elektrikal gedung	Sendiri	2013
9	Identifikasi kualitas daya listrik gedung Universitas PGRI Semarang	UPGRIS	2014
10	Penyearah Terkendali Berumpan Balik Dengan Perubahan Gain Pengendali PI (Proporsional Integral)	Sendiri	2015
11	Perancangan Pengendali Fuzzy Logic Pada Pompa Submersible Untuk Penghematan Energi Listrik	UPGRIS	2016

Semarang, 3 Januari 2018



Adhi Kusmantoro, ST, MT
NPP. 147301432

Anggota 1

1. NamaLengkap : Ir.Agus Nuwolo, MT
2. Tempat/ TanggalLahir : Temanggung/ 15 April 1961
3. Alamat/No.TelpRumah/HP : Jampirejo no.210- 211 Temanggung
(0293) 491541/ 08122942623
4. Email : agusnuwolo150461@gmail.com
5. JenisKelamin : Laki - laki
6. Jurusan : Teknik Elektro
7. NPP/Golongan/ Pangkat : 136101384/ IIIb / Penata Muda TK.I
8. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
9. BidangKeahlian : Energi Listrik
10. Pengalaman Penelitian :

NO	JUDUL PENELITIAN	BIAYA	TAHUN
1	Identifikasi kualitas daya listrik gedung Universitas PGRI Semarang	UPGRIS	2014
2	Penyearah Terkendali Berumpan Balik Dengan Perubahan Gain Pengendali PI (Proporsional Integral)	Sendiri	2015
3	Perancangan Pengendali Fuzzy Logic Pada Pompa Submersible Untuk Penghematan Energi Listrik	UPGRIS	2016

Semarang, 3 Januari 2018



Ir.AgusNuwolo, MT
NPP. 136101384

Anggota 2

1. NamaLengkap : Ken Hasto, ST
2. Tempat/ TanggalLahir : Magelang/ 12 Mei 1962
3. Alamat/No.TelpRumah/HP : Jl. Barito I / 1000 Magelang
(0293) 3192126/ 081578717406
4. Email : ken.hasto@yahoo.com
5. JenisKelamin : Laki - laki
6. Jurusan : Teknik Elektro
7. NPP/Golongan/ Pangkat : 136201390/ IIIb / Penata Muda TK.I
8. Jabatan Fungsional : Pengajar
9. BidangKeahlian : Energi Listrik
10. Pengalaman Penelitian :

NO	JUDUL PENELITIAN	BIAYA	TAHUN
1	Perbaikan sistem konversi tenaga genset menggunakan sakelar pemulih energi magnetik	dikti	2014
2	Perancangan Pengendali Fuzzy Logic Pada Pompa Submersible Untuk Penghematan Energi Listrik	UPGRIS	2016

Semarang, 3 Januari 2018



Ken Hasto, ST, MT
NPP. 137401391



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT UNIVERSITAS PGRI SEMARANG

Jl. Dr. Cipto - Lontar No. 1 Semarang - Indonesia Telp. (024) 8451279, 8451824 Faks. 8451279
Email : lppmupgrismg@yahoo.co.id Website : lppm upgrismg.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 087/ST/LPPM-UPGRIS/III/2017

Dengan ini Ketua LPPM Universitas PGRI Semarang memberi tugas kepada :

Nama : Adhi Kusmantoro, S.T., M.T.
NPP : 147301432
Pangkat/Golongan : Penata / III c
Jabatan Fungsional : Lektor
Pekerjaan : Dosen FT Universitas PGRI Semarang
Pada hari / tgl : Maret s/d Juni 2017
Tempat : Perumahan Ngaliyan Semarang
Keperluan : Kegiatan Penelitian dengan judul Desain Sistem Hybrid Sumber Listrik Satu Fasa pada Rumah Tinggal.

Demikian agar tugas ini dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan setelah selesai harap melaporkan hasilnya.

Mengetahui,
Telah melaksanakan tugas



Semarang, 17 Maret 2017
Ketua,



Ir. Suwarno Widodo, M.Si.
NPP. 876101038



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG**

Jl. Dr. Cipto - Lontar No. 1 Semarang - Indonesia Telp. (024) 8451279, 8451824 Faks. 8451279
Email : lppmupgrismg@yahoo.co.id Website : lppm.upgrismg.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 087/ST/LPPM-UPGRIS/III/2017

Dengan ini Ketua LPPM Universitas PGRI Semarang memberi tugas kepada :

Nama : Ir. Agus Nuwolo, M.T.
NPP : 136101384
Pangkat/Golongan : Penata Muda Tk.I / III b
Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
Pekerjaan : Dosen FT Universitas PGRI Semarang
Pada hari / tgl : Maret s/d Juni 2017
Tempat : Perumahan Ngaliyan Semarang
Keperluan : Kegiatan Penelitian dengan judul Desain Sistem Hybrid Sumber Listrik Satu Fasa pada Rumah Tinggal.

Demikian agar tugas ini dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan setelah selesai harap melaporkan hasilnya.

Mengetahui,
Telah melaksanakan tugas



MUNAWIRO

Semarang, 17 Maret 2017
Ketua,



Ir. Suwarno Widodo, M.Si.
NPP. 876101038



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG**

Jl. Dr. Cipto - Lontar No. 1 Semarang - Indonesia Telp. (024) 8451279, 8451824 Faks. 8451279
Email : lppmupgrismg@yahoo.co.id Website : lppm.upgrismg.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 087/ST/LPPM-UPGRIS/III/2017

Dengan ini Ketua LPPM Universitas PGRI Semarang memberi tugas kepada :

Nama : Ken Hasto, S.T., M.T.
NPP : 137401391
Pangkat/Golongan : Penata muda Tk.I/ III b
Jabatan Fungsional : Tenaga Pengajar
Pekerjaan : Dosen FT Universitas PGRI Semarang
Pada hari / tgl : Maret s/d Juni 2017
Tempat : Perumahan Ngaliyan Semarang
Keperluan : Kegiatan Penelitian dengan judul Desain Sistem Hybrid Sumber Listrik Satu Fasa pada Rumah Tinggal.

Demikian agar tugas ini dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan setelah selesai harap melaporkan hasilnya.

Mengetahui,
Telah melaksanakan tugas



Semarang, 17 Maret 2017
Ketua,



Ir. Suwarno Widodo, M.Si.
NPP. 876101038

**TABUCHI
ELECTRIC**

Inverter Catalog

**TABUCHI
ELECTRIC**



TABUCHI ELECTRIC CO., LTD.

Head Office Nissay Shin-osaka Bldg., 3-4-30 Miyahara, Yodogawa-ku, Osaka, 532-0003 Japan
TEL +81-6-4807-3500 FAX +81-6-4807-3502

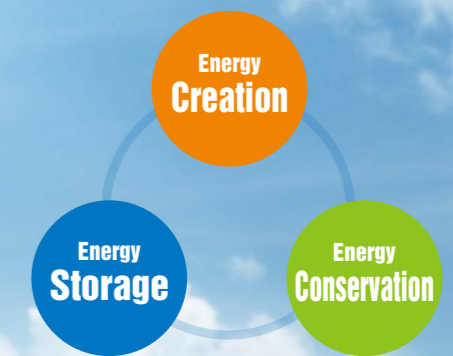
Tokyo Office Kinsan Bldg., 3-18-3 Kanda Nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0054, Japan
TEL +81-3-5259-6250 FAX +81-3-5259-6251

<http://www.zbr.co.jp>

INV-E.2016.09.SK-2

Innovate for a sustainable future

Consumers are looking for energy solutions that combine three types of technology: energy creation, energy conservation, and energy storage. Electric energy is generated from natural sources and from fuel cells. Energy conservation is achieved through the use of rechargeable batteries that store generated power that is used when needed. The core of this energy management system is the control device, the solar inverter. Through products designed for this environmental era, Tabuchi Electric is making further contributions to society.



The History of the Tabuchi Electric Power Electronics Business

Since its founding in 1925, Tabuchi Electric's core business has been transformer products, and even now, Tabuchi is well known to public as a transformer manufacturer.

In 1976, Tabuchi advanced into the power supply unit business with a focus on the development and deployment of high-frequency transformer technology.

With the deregulation of the electric power industry in 1995, we began to develop the PV solar inverter, a culmination of experience using transformer and power supply unit technology.

Since that time, for over 10 years, PV generation has attracted great interest thanks to the support of the national government and local municipalities, as well as a growth in environmental awareness.

During this period, Tabuchi Electric has continued production and development of solar inverters. We have also accumulated and expanded our knowledge of power electronics technology.

In 2005, in addition to our core consumer-oriented business area, Tabuchi Electric advanced into the heavy electrical and industrial field. As a result, we are now able to respond to demands in both consumer and industrial domains.

The knowledge we have accumulated in power electronics technology over the past 10 years has found application in many areas. It is our mission and responsibility to make use of this technology for the global environment.

INDEX

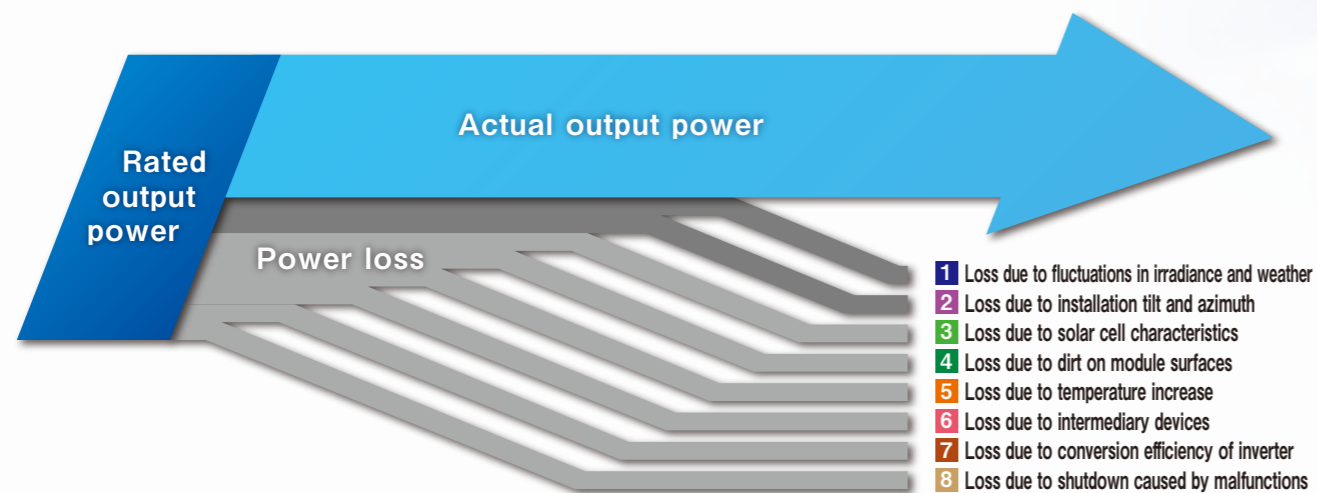
The Superiority	P. 2
Global Lineup	P. 8
Specifications for Global Products	P.10
Three-phase 25 kW Solar Inverter, EIBS, 3.5/5.5 kW Solar Inverter, Stand-alone Inverter, Master Box	
Monitoring System	P.38
Japan Product Lineup	P.40
Tabuchi Electric Global Network	P.42

01 The Solar Age

PV systems are environmentally friendly and economical, making them ideal for generating power. However, there are currently a host of issues that need to be resolved, from the planning stage to post-installation.

What You Should Know About Power Loss in PV Systems.

There are a number of factors underlying power loss. Let's explain each factor one by one.



1 Loss due to fluctuations in irradiance and weather

Since it is impossible to avoid fluctuations in insolation due to latitude and climate conditions, it is important to perform adequate simulations when developing the installation plan. Check regional insolation information and other data to build a system that can dependably generate sufficient power under the anticipated conditions mentioned above.

2 Loss due to installation tilt and azimuth

With 100% irradiance at due south, irradiance decreases the more the panel orientation (azimuth) faces to the east or west. The optimum tilt (angle of inclination) for PV panels in Japan is roughly 30°.

Multi-MPPT inverters offers more flexibility for PV system design.

3 Loss due to solar cell characteristics

Internal losses in a solar module are varied and linked to the imbalances between solar cells. Voltage imbalances are particularly apt to occur when PV strings are connected in parallel. Current flowing from the higher voltage PV string to a lower voltage PV string results in a voltage drop at the inverter input of the system.

A multi-MPPT system controls voltage loss.

4 Loss due to dirt on module surfaces

Dirt on the surface of the solar panels impedes the system's ability to receive sunlight. Rainfall does not wash away some types of dirt, so the ability to maintain generation capacity is dependent on periodic cleaning. In particular, leaf litter and other foreign matter that has blown onto the panels can reduce irradiation. Partial shading can affect the generation capacity of PV panels and cause loss similar to 3.

A multi-MPPT system minimizes loss due to dirt and partial shade.

5 Loss due to temperature increase

Typically, the conversion efficiency of solar cells decreases as the temperature rises. More power is generated on cool days than hot days when there is a great deal of irradiation.

A good design practice provides plenty of airflow around PV panels.

6 Loss due to intermediary devices

Diodes are installed in junction boxes and panel boards to prevent reverse current damage to solar cell modules. However, the operating power of these diodes and the heat generated when they run results in a loss of power. Even more voltage conversion loss occurs when booster units are used. The anticipated nameplate capacity will not be attained if the overall efficiency of the system is not taken into consideration.

Built-in junction boxes eliminate loss due to intermediary devices.

7 Loss due to conversion efficiency of inverter

Conversion efficiency does not account for all loss caused by the solar inverter. When the internal temperature of the inverter increases, its efficiency decreases. Furthermore, a higher grid voltage may also decrease the inverter efficiency. When the inverter is installed indoors, in an enclosed space, temperature monitoring is likely to activate the cooling system. The inverter may shutdown without proper ventilation or cooling.

Outdoor installation reduces loss due to temperature increase.

8 Loss due to shutdown caused by malfunctions

When panels or devices deteriorate or malfunction, the system must be stopped until repairs are made. The longer it takes to detect a malfunction and complete repairs, the greater the decrease in power generated.

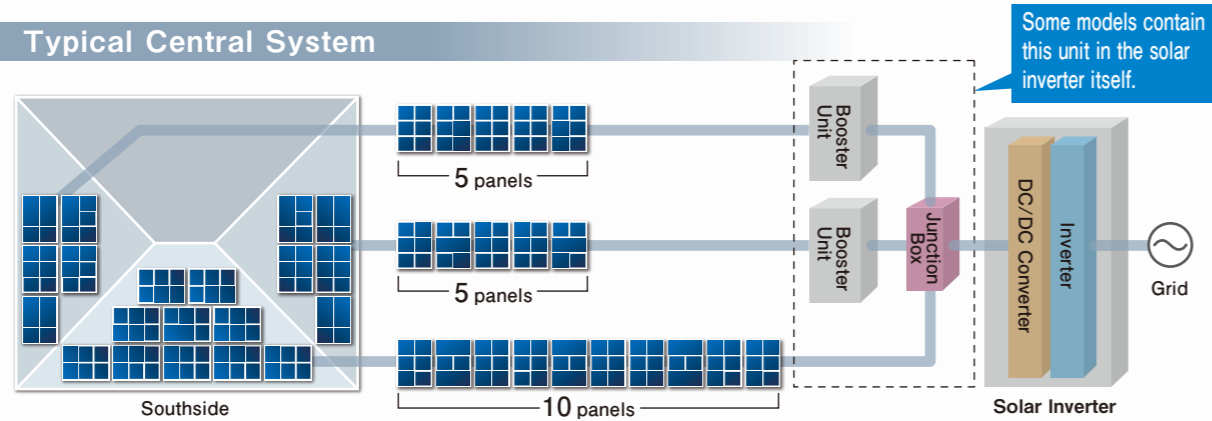
Even when panels malfunction, multi-MPPT systems continue to generate power.

02

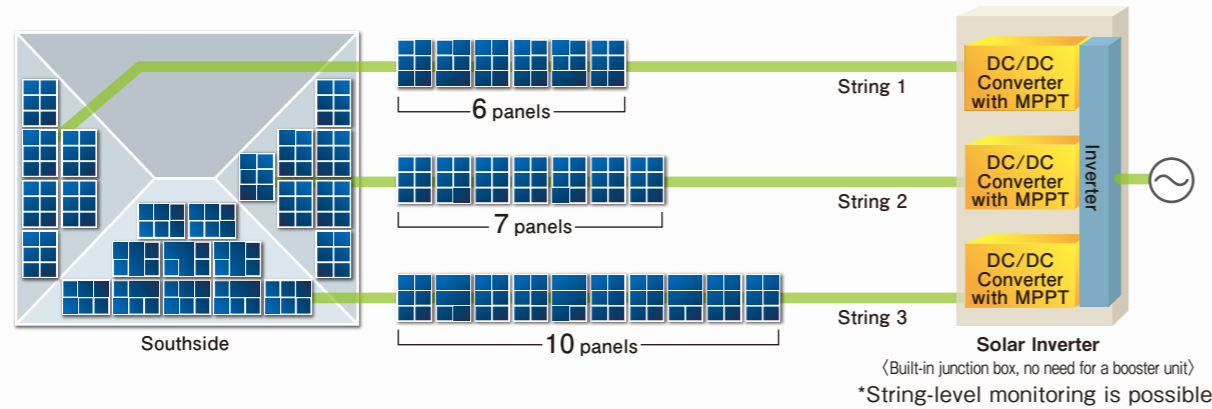
Multi-MPPT systems reduce power loss

Since a multi-MPPT system can control the voltage input of each string, there is no need to adjust the capacity as with central systems. Installation is simple, there is no need for junction boxes, booster units, or any other such intermediary devices. Also, input connections can be made directly to the inverter without causing intermediate losses. Multiple MPPT makes it possible to combine different types of solar panels. Since devices can now be installed in locations that were previously impossible, installers can make the most effective use of roof surface area for the generation of electric power.

Typical Central System



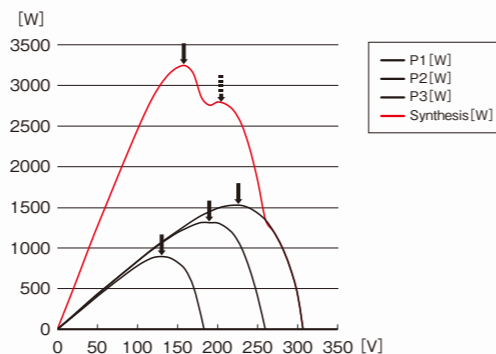
Multi-entry System (Multi-MPPT System) Generation increases! Power loss decreases!



Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Since there are multiple input peaks* in a central inverter design, the maximum power point can be lost. However, with a multi-MPPT inverter, MPPT control is used on each string, so it typically attains the maximum power point.

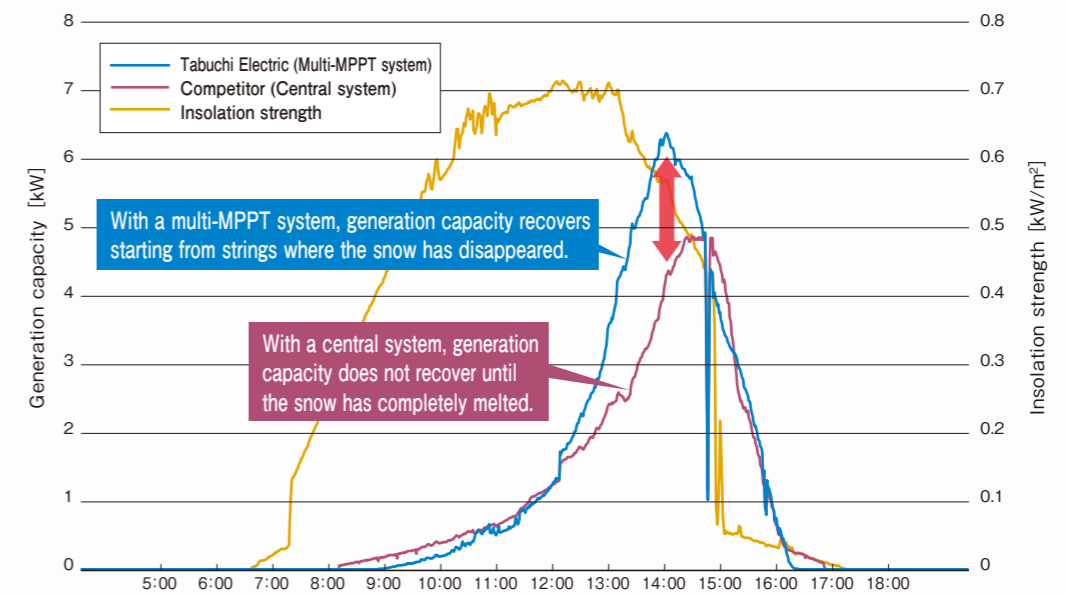
*The maximum power point is the peak of the P-V (power-voltage) curve.



The Multi-MPPT Inverters: See the Difference! Comparison Study: Generation capacity when snow melts

The following chart shows the amount of generation the day after snowfall in Japan. There is a significant difference in the recovery of power generation capacity between a multi-MPPT system and a central system as the snow on the panels melts. (Actual data from the Tabuchi Electric Renewable Energy Research Center in Japan)

Comparison of generation capacity when snow melts



*This does not constitute a guarantee of power generation when snow has accumulated.

03

Supports a wide variety of panels

Thanks to steady progress and technical innovation, new types of PV panels are constantly making inroads into the market.

Our solar inverters are designed with a wide range of input parameters to support different types of PV panels.

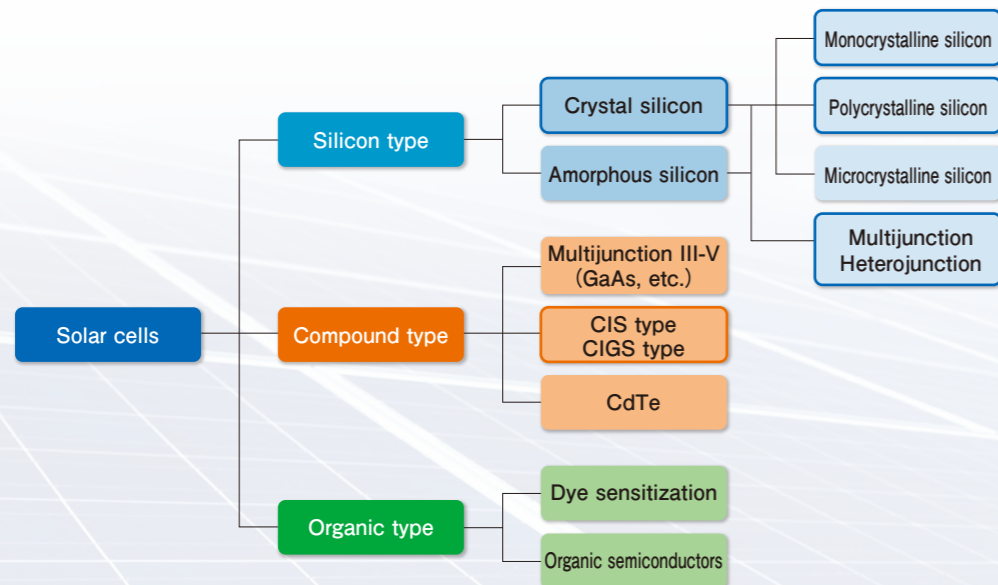
The Tabuchi Electric Renewable Energy Research Center evaluates new panels from each manufacturer. Data is collected and verified by testing the panels under natural conditions for an extended period of time.



Test combining PV panels and solar inverters

Solar Cells: Types & Characteristics

Solar cells are currently classified by the type of material they are made from.



Type		Features
Silicon type	Monocrystalline	Although monocrystalline solar cells excel in performance and reliability, substrate prices are high.
	Polycrystalline	These solar cells have polycrystalline silicon substrates. Although conversion rates are lower than monocrystalline panels, these panels dominate the market because they are cheaper and easier to make.
	Amorphous	This type of solar cell uses an amorphous silicon film on a glass substrate. Although conversion efficiencies are less than crystalline systems, they can be mass produced for large surfaces.
	Multi-contact type	Solar cells with multiple layers of silicon film. This method uses smaller amounts of silicon and lends itself to the mass production of large surface areas. Since these panels absorb a wide band of wavelengths, they are more efficient than amorphous solar cells.
Compound type	CIS system CIGS system	Solar cells made using copper, indium, gallium, selenium, and other compounds. They are thin so they conserve resources and are easily mass produced. They offer high performance, so a great deal of work is being done on their development.

04

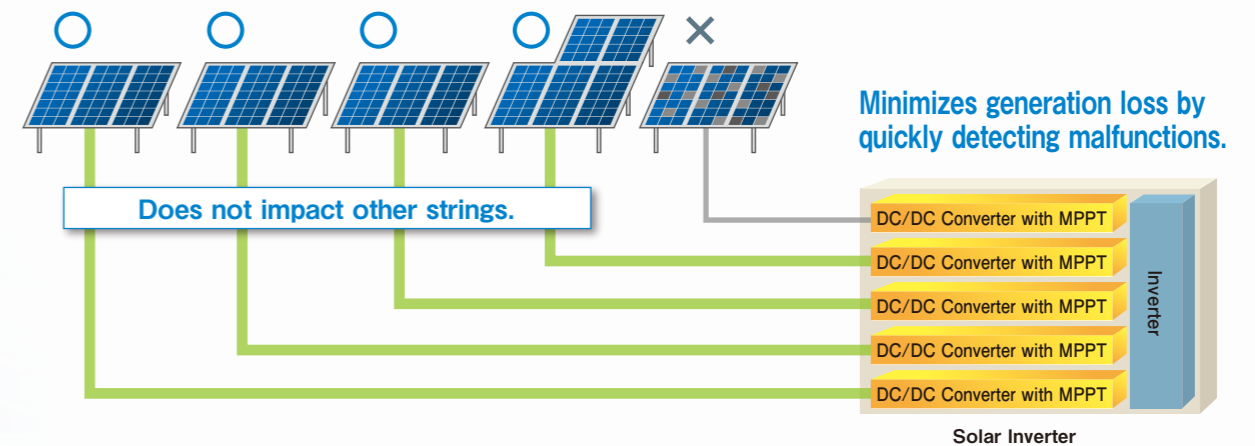
Ease of maintenance & repair

Solar panels degrade over their lifespan. Years of use and potential damage to the panels may reduce their power output. The causes of these problems are not visible, so output gradually declines. Loss will continue to occur until the problems are discovered and repairs are made. Also, if a malfunctioning panel remains connected to the system, it can have a negative impact on other panels. Timely maintenance is important to ensure consistent generation capacity. However, the multi-MPPT solar inverter is designed to minimize loss and reduce the burden on customers as much as possible after installation.

Steps taken to minimize loss

In our multi-MPPT system, each string is independent of the other strings. Even if some panels in a particular string malfunction, the other strings remain unaffected.

Since strings can be turned on and off individually, the malfunctioning string can be electrically isolated. The system can continue to generate power until the malfunctioning string is repaired.



Also suitable for large-scale generation!

With our multi-MPPT systems, panel generation data can be collected for each string so decreases in output can be detected early on. Also, since exactly which panel is defective can be identified, maintenance can be performed without delay. Therefore, loss is minimized when the system is shut down for routine maintenance or when a malfunction occurs.

Global Lineup

Japan Models



4.0 kW, 4.9 kW, 5.5 kW, Single-phase 9.9 kW
 Three-phase 9.9 kW, Three-phase 25 kW/33 kW
 Hybrid Solar Inverter: PV 5.5 kW Battery 9.89 kWh
 Portable Battery Storage System 2.5 kWh, 5.0 kWh

Global Model



Stand-alone Inverter

Thailand Models



3.5/5.5 kW Solar Inverter

Master Box Three-phase 25 kW Solar Inverter

USA/Canada Models



Three-phase 25 kW Solar Inverter

Master Box

EIBS

Product Name	Certification	Energy Source	Applications	Installation Location	Installation Method	Number of Strings	Topology	Display/Operation
--------------	---------------	---------------	--------------	-----------------------	---------------------	-------------------	----------	-------------------

USA/Canada Models

	Three-phase 25 kW Solar Inverter EPW-T250P6-US	ETL (UL1741/1699B, CSA C22.2 No. 107.1-01 IEEE 1547a, CEC) FCC Class A			Outdoor	Rack-mounted	6	Transformer-less	Chassis-embedded Master Box	» P.10
	Three-phase 25 kW Solar Inverter TPD-T250P6-US	Pending (Applied for UL1741/1699B, CSA C22.2 No. 107.1-01 IEEE 1547a, CEC, FCC Class A)			Outdoor	Rack-mounted	6	Transformer-less	Chassis-embedded Master Box	» P.14
	EIBS*1 Hybrid Solar Inverter with Embedded Battery EHW-S55P3B-PNUS EOW-LB100-PNUS	Inverter: ETL (UL1741/1699B/60950-1, CSA C22.2 No. 107.1/No. 60950-1, IEEE 1547a, CEC, Hawaii requirement) FCC ClassB Battery: ETL (UL1973, CSA C22.2 No. 60950-1)			Outdoor (Battery unit must be installed indoors)	Floor-mounted	3	High Frequency Isolated Transformer	Color LCD Remote Controller	» P.18

Thailand Models

	3.5 kW/5.5 kW Solar Inverter EPC-A-S35MPT EPC-A-S55MPT	PEA, MEA		 	Outdoor	Wall-mounted	2 3	High Frequency Isolated Transformer	—	» P.24
	Three-phase 25 kW Solar Inverter TPD-T250P6-TH	Pending (Applied for PEA)			Outdoor	Rack-mounted	6	Transformer-less	Chassis-embedded Master Box	» P.28

Global Model

	Stand-alone Inverter*2 TDS001 TDS002			 	Indoor	Wall-mounted	1	High Frequency Isolated Transformer	—	» P.32
--	--	--	--	------	--------	--------------	---	--	---	------------------------

*1 EIBS...Eco Intelligent Battery System *2 Please conform to country-specific standards and regulations.

EPW-T250P6-US Three-phase 25 kW Solar Inverter

[Energy Source] [Applications]



EOW-MBX03-US (Required)

For High Voltage Grid-tied Utility Systems

Space-saving inverter for distributed generation.

Simple to install and maintain, and allows for detailed monitoring.

- 1 6 MPPT Input Strings – Max. 4.4 kW usable input DC/DC Converter x 6 Strings
- 2 98.5% (CEC 97.5%) Efficiency – SiC Power Diode and 3 Level Inverter
- 3 Three-phase 480 V AC Output – Lower BOS cost
- 4 Highly corrosion-resistant enclosure
- 5 Eliminates the need for combiner boxes – All PV module strings terminate at the Inverter
- 6 Monitoring and parameter setting via Master Box

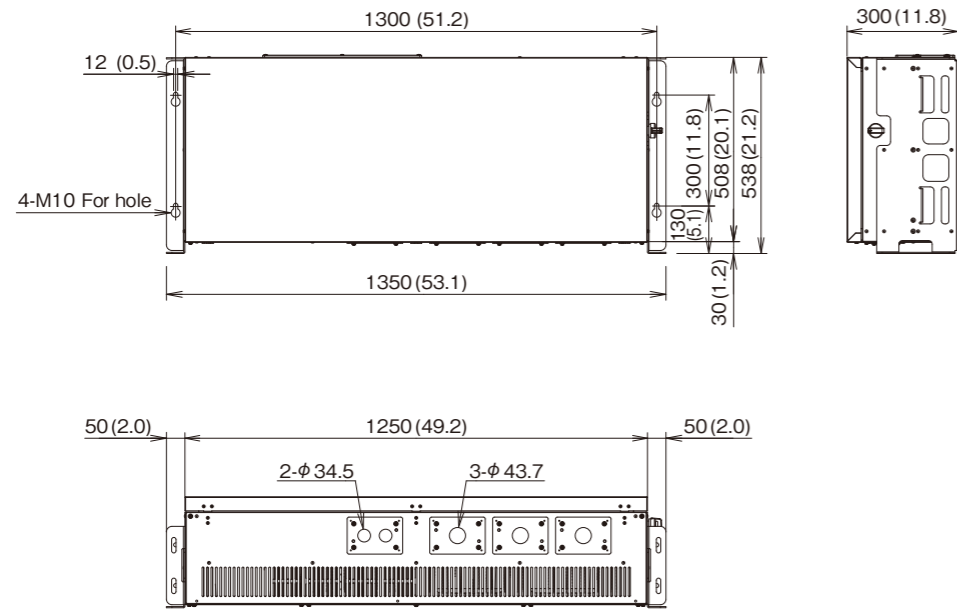
Specifications

Input (DC)	
Usable input power per string	Rated: 4200 W, Max: 4400 W
Max. input voltage	1000 V
Operation voltage range/rated input voltage	140 to 880 V/700 V
MPPT voltage range	500 to 800 V
Min. input voltage/start voltage	140 V/200 V
Number of MPPT inputs	6
Max. input operating current per string	10 A
Output (AC: Grid connected)	
Grid connection type	Three-phase, 4-wire + Ground
Conversion method	Vector modulation method
Rated output power**	25000 W
Rated AC voltage	480 V (277 V WYE)
Nominal AC voltage range	422.4 to 528 V
Rated grid frequency/Range	60 Hz/59.5 to 60.5 Hz
Output current	Rated: 30 A, Max: 31 A
Power factor at rated output power	≥ 0.99
Distortion rate of the output current	Total: less than 5%
Efficiency	
Efficiency	Max. 98.5% (DC700 V, 50% output), Typ. 97.7%/CEC 97.5%
Protection	
Islanding operation detection: Passive	Frequency change detective method
Islanding operation detection: Active	Frequency shifting method
General Data	
Dimensions (W/H/D)	1350/538/300 mm (53.1/21.2/11.8 in)
Weight	90.5 kg (199 lb)
Installation location	Outdoor
Operating temperature range	-20°C to +50°C (-4°F to +122°F)/Rated output until +40°C (+104°F)
Noise emission (typical)	≤ 50 dB (for reference)
Internal consumption (night)	< 12 W
Topology	Transformer-less
Cooling concept	Internal air circulation
Enclosure rating	Type 3R
Features	
Constant power factor control	80% to 100%
DC terminal	Terminal block (+, -) × 6
AC terminal	Terminal block (L ₁ , L ₂ , L ₃ , N)
Grounding terminal	Terminal block (3 poles)
Contact point output circuit	Yes
Controller	Master Box (Required)
Master Box for output control	EOW-MBX03-US
Interface	RS-485
Certification	ETL (UL1741/1699B, CSA C22.2 No. 107.1-01, IEEE1547a, CEC), FCC class A

**1 When the Power factor is 100% during inverter operation.

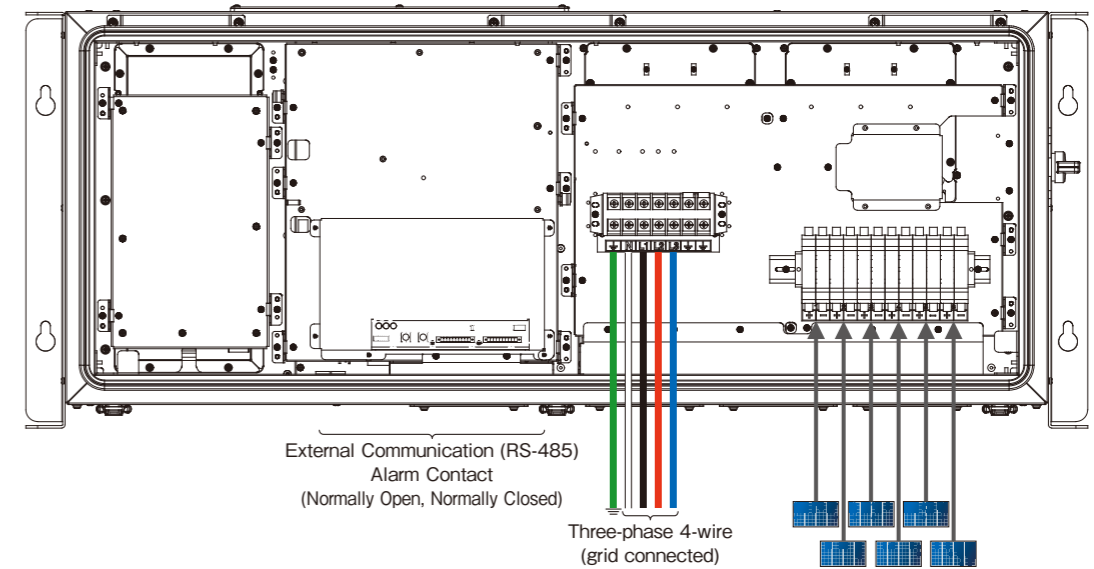
Dimensions

Unit: mm (in)

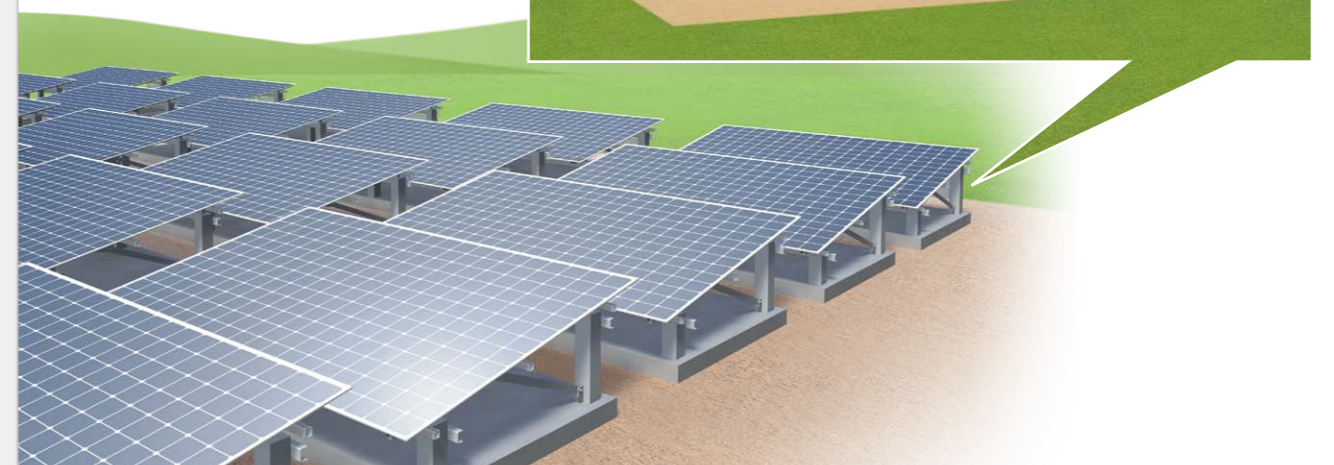
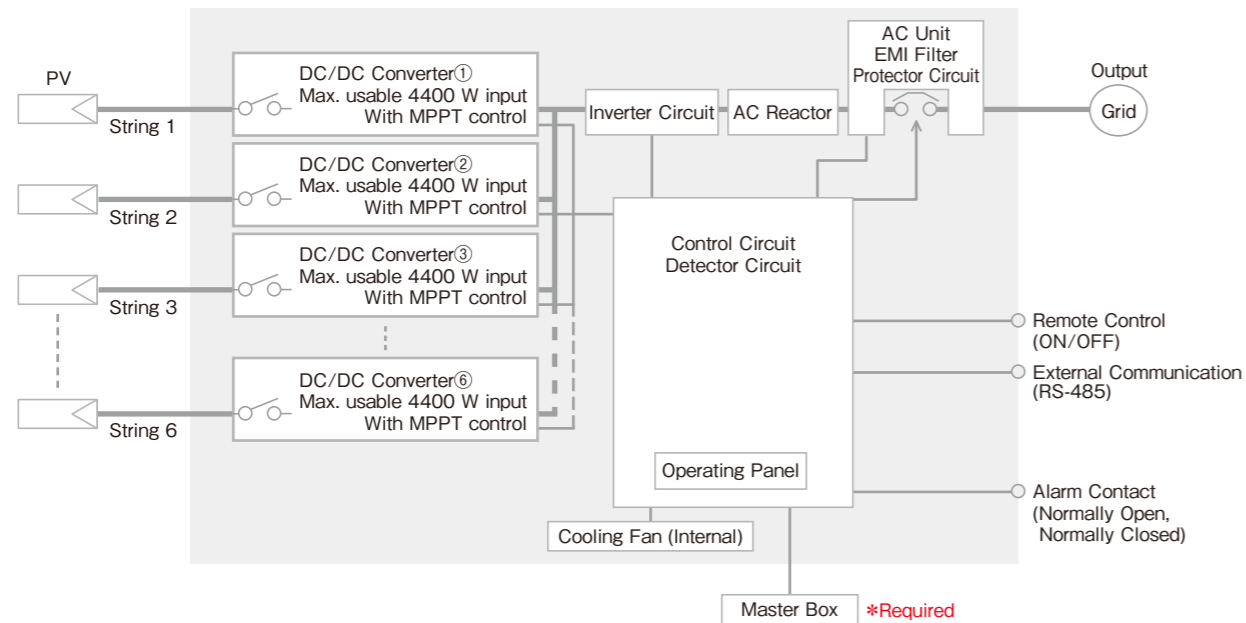


Installation Diagram

Please refer to the Installation Manual for further details.



Block Diagram



TPD-T250P6-US Three-phase 25 kW Solar Inverter

[Energy Source] [Applications]



EOW-MBX03-US (Required)

For High Voltage Grid-tied Utility Systems

Space-saving inverter for distributed generation.

Simple to install and maintain, and allows for detailed monitoring.

This inverter is smaller, lighter and has superior workability.

- 1 6 MPPT Input Strings – Max. 5.2 kW usable input DC/DC Converter x 6 Strings
- 2 98.7% Efficiency – 3 Level Inverter
- 3 Three-phase 480 V AC Output – Lower BOS cost
- 4 Highly corrosion-resistant enclosure
- 5 Eliminates the need for combiner boxes – All PV module strings terminate at the Inverter
- 6 Monitoring and parameter setting via Master Box

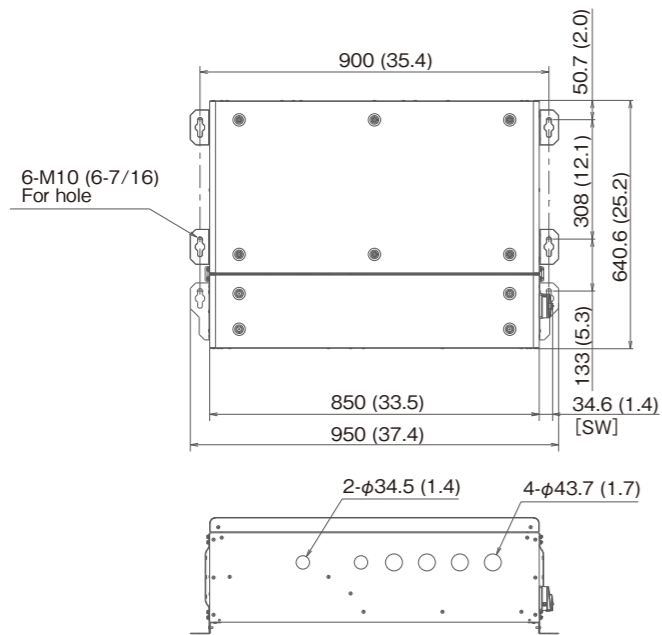
Specifications

Input (DC)	
Usable input power per string	Rated: 4300 W, Max: 5200 W
Max. input voltage	1000 V
Operation voltage range/rated input voltage	200 to 1000 V/700 V
MPPT voltage range	500 to 800 V
Min. input voltage/start voltage	200 V/200 V
Number of MPPT inputs	6
Max. input operating current per string	10 A
Output (AC: Grid connected)	
Grid connection type	Three-phase, 4-wire + Ground
Conversion method	Vector modulation method
Rated output power**	25000 W
Rated AC voltage	480 V (277 V WYE)
Nominal AC voltage range	422.4 to 528 V
Rated grid frequency/Range	60 Hz/59.5 to 60.5 Hz
Output current	Rated: 30 A, Max: 35 A
Power factor at rated output power	≥ 0.99
Distortion rate of the output current	Total: less than 5%
Efficiency	
Efficiency	Max. 98.7% (DC700 V, 30% output)
Protection	
Islanding operation detection: Passive	Frequency change detective method
Islanding operation detection: Active	Frequency shifting method
General Data	
Dimensions (W/H/D)	950/640.6/300 mm (37.4/25.2/11.8 in)
Weight	69.8 kg (153.9 lb)
Installation location	Outdoor
Operating temperature range	-20°C to +60°C (-4°F to +140°F)/Rated output until +40°C (+104°F)
Noise emission (typical)	≤ 50 dB (for reference)
Internal consumption (night)	< 7 W
Topology	Transformer-less
Cooling concept	Forced air cooling
Enclosure rating	Type 3 (NEMA 3 equivalent)
Features	
Constant power factor control	80% to 100%
DC terminal	Terminal block (+, -) × 6
AC terminal	Terminal block (L ₁ , L ₂ , L ₃ , N)
Grounding terminal	Terminal block (FG + 8 poles)
Contact point output circuit	Yes
Controller	Master Box (Required)
Master Box for output control	EOW-MBX03-US
Interface	RS-485
Certification	Pending (Applied for UL1741/1699B, CSA C22.2 No. 107.1-01, IEE1547a, CEC, FCC class A)

** When the Power factor is 100% during inverter operation.

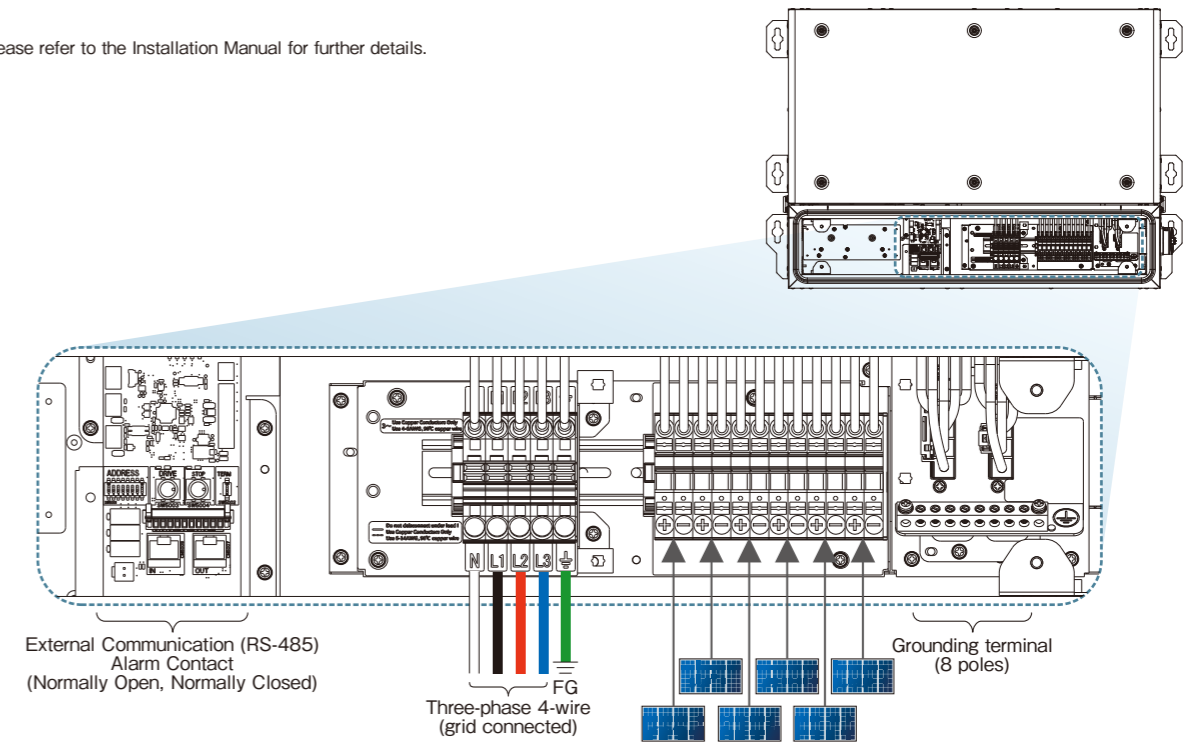
Dimensions

Unit: mm (in)

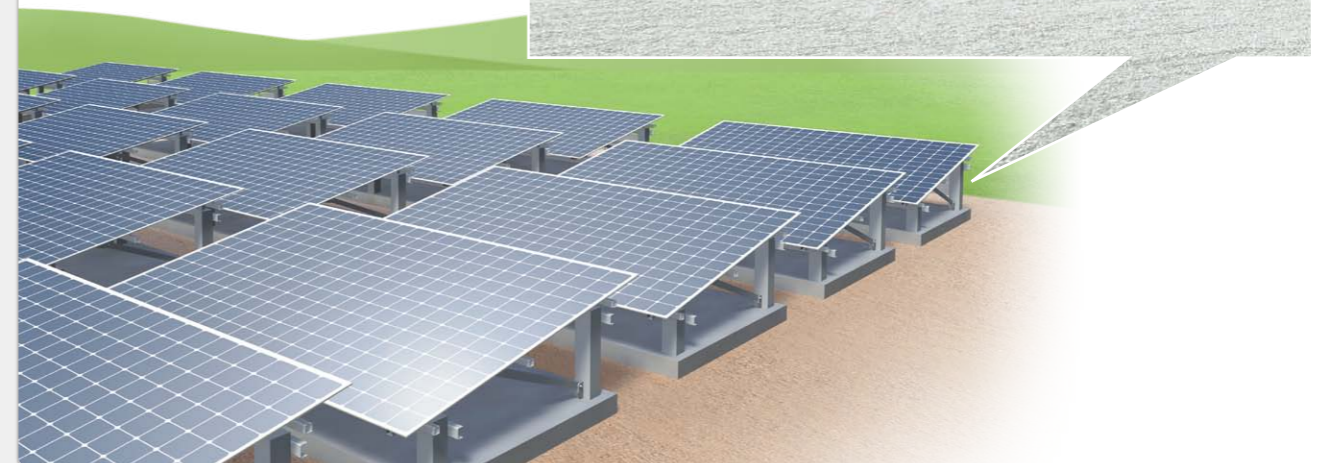
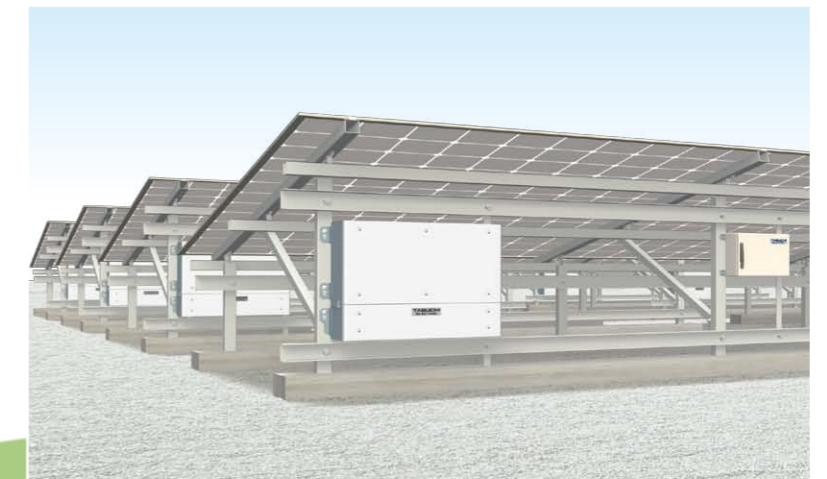
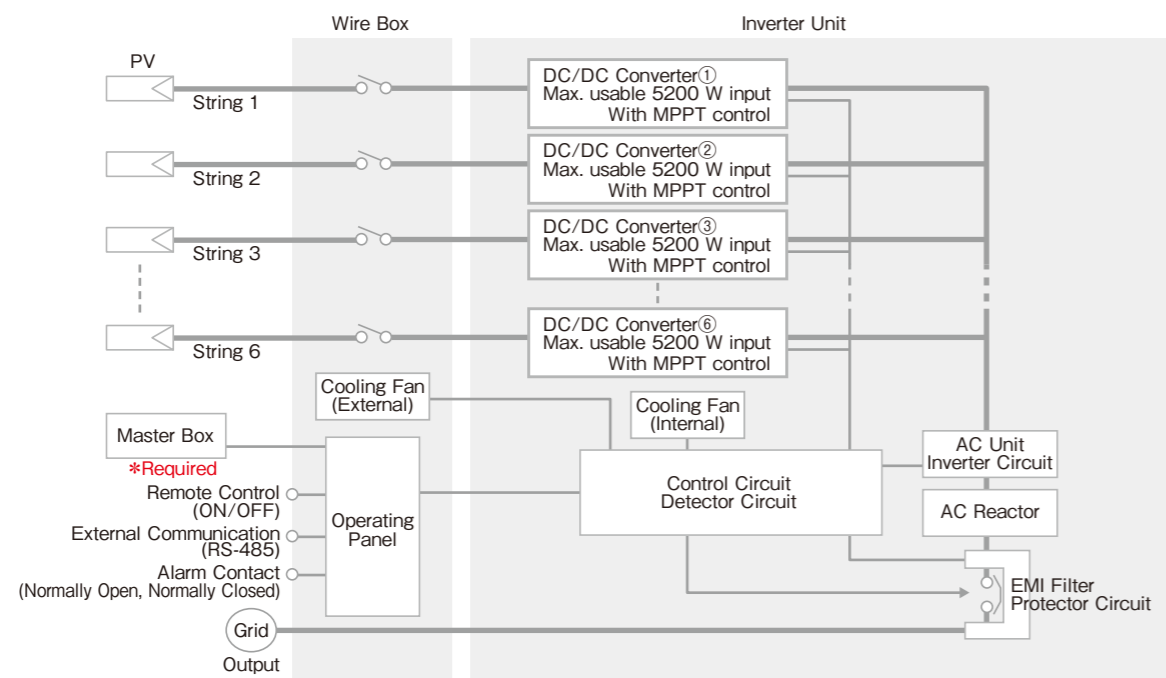


Installation Diagram

Please refer to the Installation Manual for further details.



Block Diagram



[EIBS]* EHW-S55P3B-PNUS EOW-LB100-PNUS Hybrid Solar Inverter with Embedded Battery

*Eco Intelligent Battery System



ZREM-35TEB01-US



Smarter power use and storage

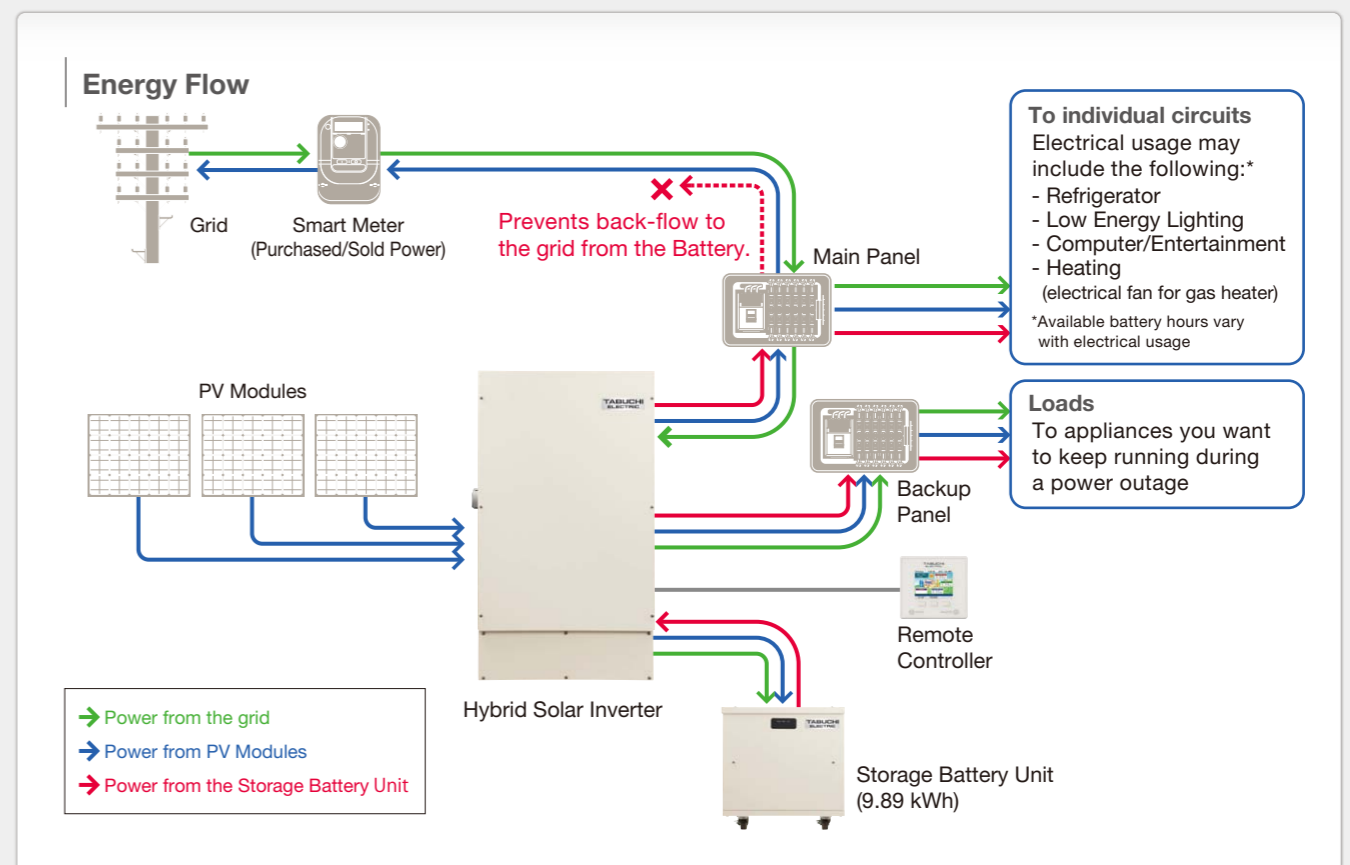
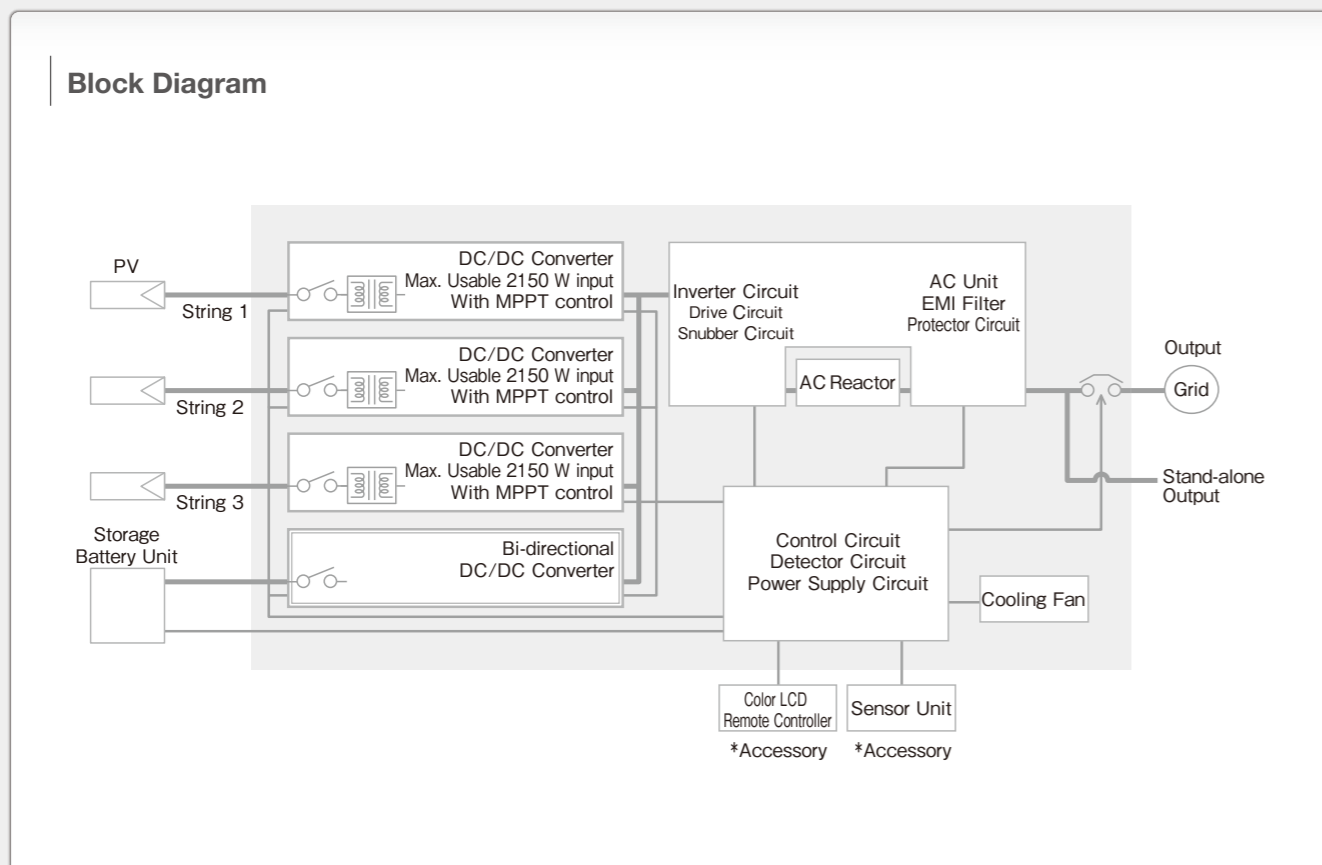
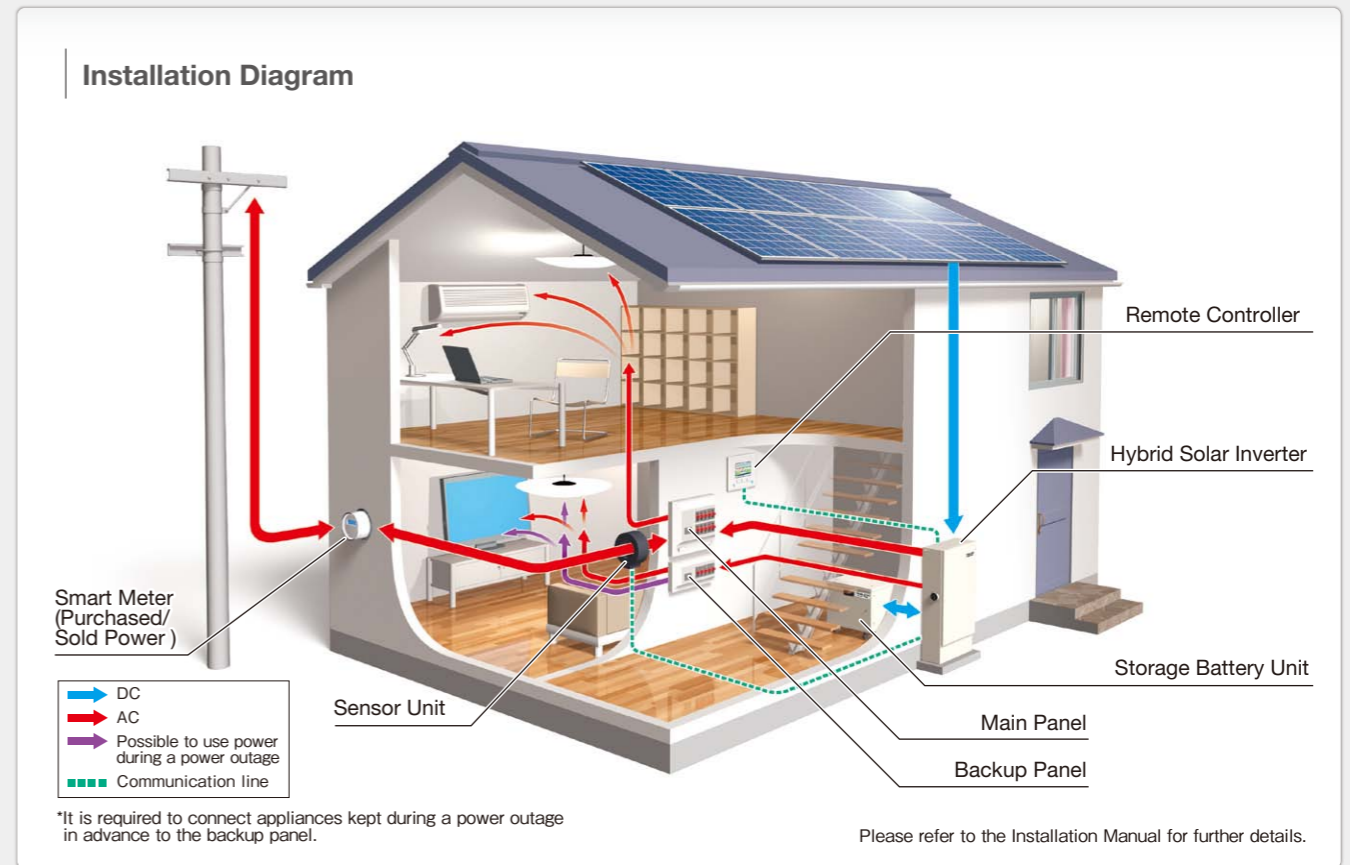
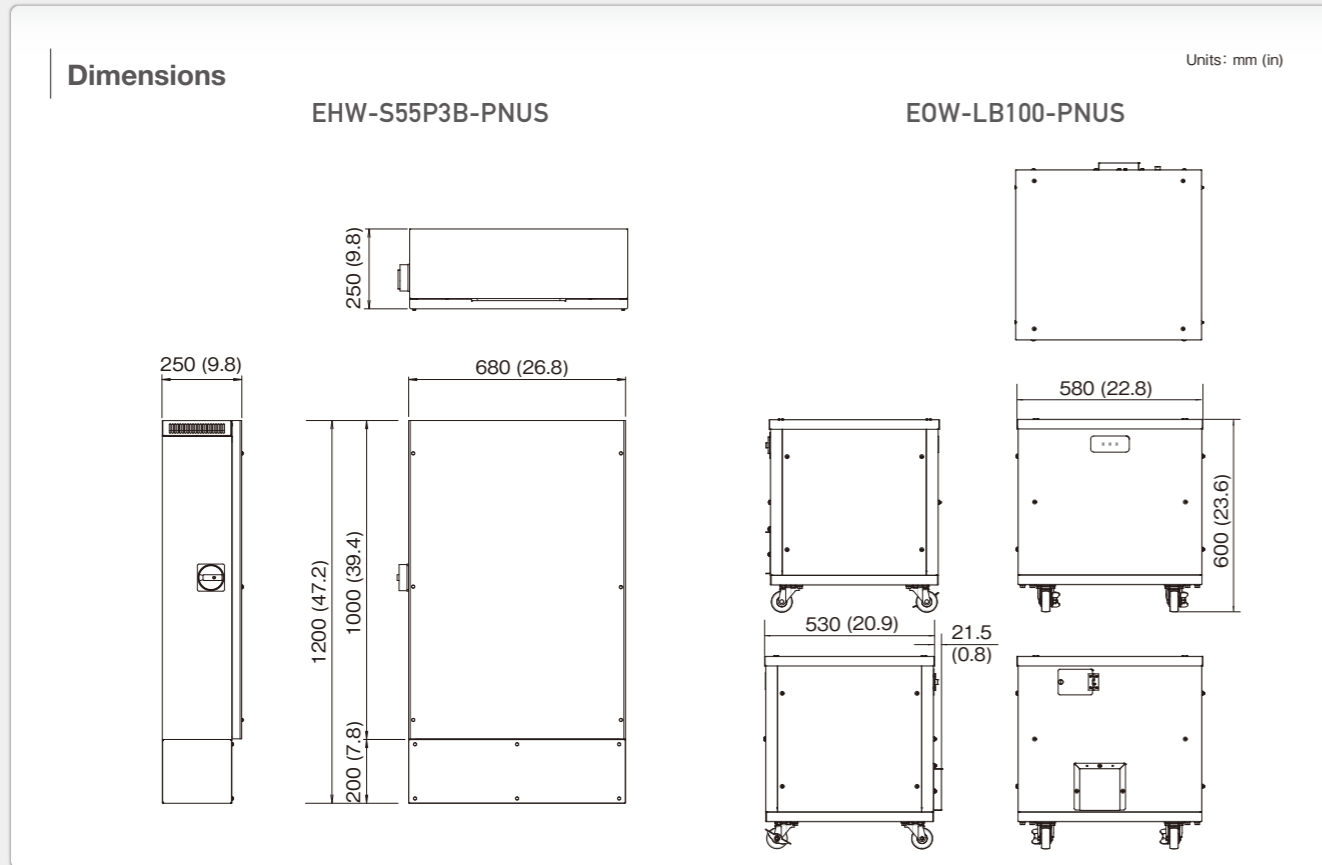
Storage batteries are an effective way to store solar power and facilitate utility rate "peak cutting". Charge batteries from the grid or PV modules. Patented software prevents arbitrage of power export from battery to grid. Capable of being used as a stand-alone system during power outages.

- 1 3 MPPT 5.5 kW solar inverter
- 2 Bi-directional DC to DC battery converter
- 3 Automatic transfer switch
- 4 Battery charge controller (BATTERY MANAGEMENT SYSTEM)
- 5 9.89 kWh lithium ion battery
- 6 Easy remote controlled setup
- 7 Solar and battery remote monitoring

Specifications

Input (DC: Photovoltaic)	
Usable input power per string	Rated: 2000 W, Max: 2150 W
Max. input voltage	450 V
Operation voltage range/rated input voltage	80 to 450 V/250 V
Min. input voltage/starting voltage	80 V/100 V
Number of MPPT inputs	3
Max. input operating current per string	10.3 A
Charge/Discharge (DC: Battery)	
Compatible battery model	EOW-LB100-PNUS *1
Storage capacity	Typical 9.89 kWh (Rated 9.48 kWh)
Number of input circuit	1 circuit
Charge power	1.5 kW *2
Discharge power	2.0 kW *2
Conversion method (Charge)	Grid connected operation: PWM method by power command (Constant current, constant voltage control) Standalone operation: Bus voltage stabilization PWM method (Constant current, constant voltage control)
Conversion method (Discharge)	Grid connected operation: PWM method by power command / Standalone operation: Bus voltage stabilization PWM method
Output (AC: Grid connected)	
Grid connection type	Single-phase, 2-wire type (connected to single-phase, 3-wire type)
Conversion method	Voltage type current controller method
Rated output power*3	5500 W
Rated AC voltage	240 V
Nominal AC voltage range	211.2 to 264 V
Rated grid frequency/Range	60 Hz/58.0 to 62.0 Hz
Output current	Rated: 22.9 A, Max: 25.2 A
Power factor at rated output power	≥ 0.95
Distortion rate of the output current	Total: less than 5%, Each: less than 3%
Output (AC: Stand alone)	
Grid connection type	Single-phase, 2-wire
Conversion method	Voltage type voltage controller method
Rated output power	Max. 2.0 kVA*4
Rated output voltage	120 V ±5 V
Efficiency (Solar)	
Efficiency (typical)	Max. 93.3% (DC300 V, 75% output), Typ. 92.5%/CEC 91.5%
Protection	
Islanding operation detection: Passive	Frequency change rate detection method
Islanding operation detection: Active	Frequency feedback method with step implantation
General Data	
Inverter dimensions (Including base)	680/1200/250 mm (26.8/47.2/9.8 in)
Battery dimensions (W/H/D)	580/600/551.5 mm (22.8/23.6/21.7 in) *Includes the castors
Inverter weight (Including base)	76 kg (168 lb)
Battery weight	110 kg (243 lb)
Installation location	Outdoor (Battery unit must be installed indoors)
Operating temperature range (Inverter)	-20°C to +40°C (-4°F to +104°F)
Operating temperature range (Battery)	0°C to +40°C (+32°F to +104°F)
Noise emission (typical)	≤ 45 dB
Topology	High frequency isolated transformer method
Cooling concept	Forced air cooling
Enclosure rating (Inverter)	NEMA 3R
Features	
DC terminal	Terminal block (+, -) × 4
AC terminal	Terminal block (L1, L2, N)
Stand-alone terminal	Terminal block (L, N)
Grounding terminal	Terminal block (2 poles)
Display	None
Remote controller	Accessory
Cable (Remote controller)	Accessory
Interface	RS-485
Certification (Inverter)	ETL (UL1741/1699B/60950-1, CSA C22.2 No. 107.1/No. 60950-1, IEEE1547a, CEC, Hawaii requirement), FCC class B
Certification (Battery)	ETL (UL1973, CSA C22.2 No. 60950-1)

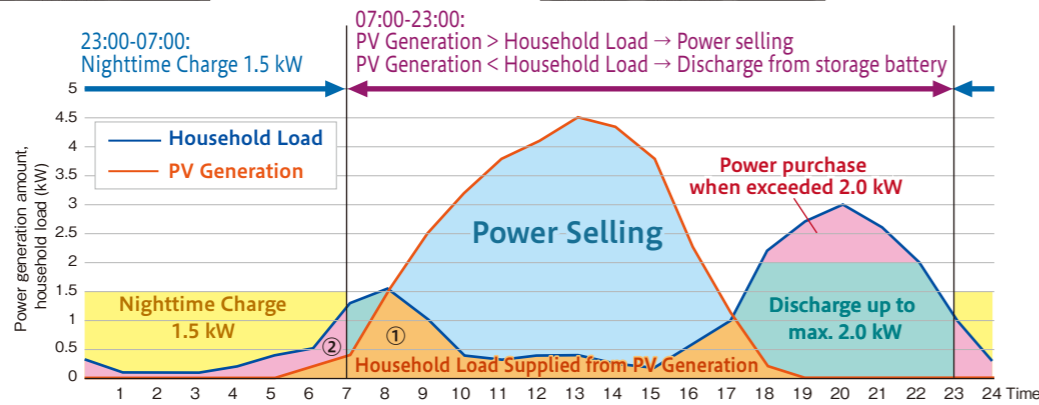
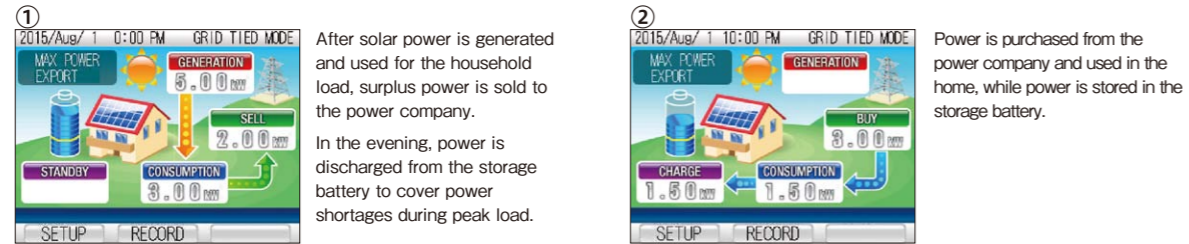
*1 The inverter is designed for the battery (EOW-LB100-PNUS). *2 Limited periods of maximum output. *3 Value calculated when all strings were in use. *4 When power is supplied to electric appliances connected to the stand-alone outlets, inrush current may trip protective devices and prevent the appliances from running.



Four Operating Modes – Max Power Export, Economy, Home Backup and Peak Cut

1 Max Power Export Mode

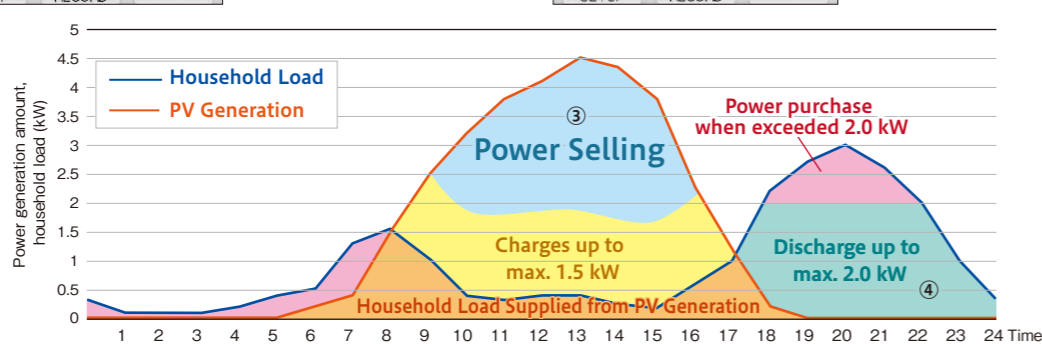
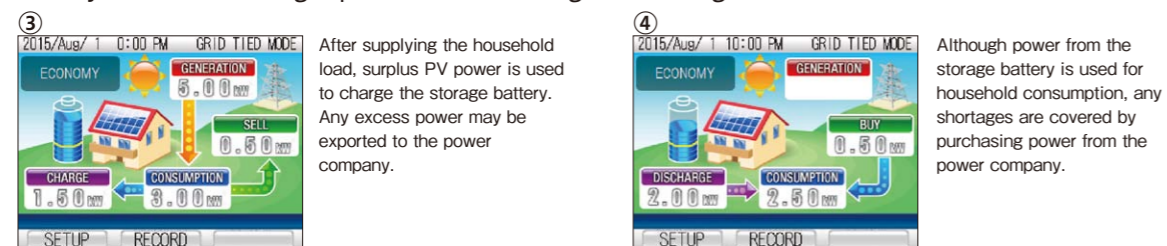
The most economical mode of electric power is through the charging and discharging of storage batteries. This mode prioritizes selling PV-generated power during the day. It uses the power stored in the battery to cover the household load in the evening when demand is high. The battery is charged overnight when power rates are low to compensate for the power used during the daytime and the evening.



This mode minimizes use of “peak electricity” and “purchased electricity” by charging the storage batteries at night when utility rates are low and evening to run connected electric appliances.

2 Economy Mode

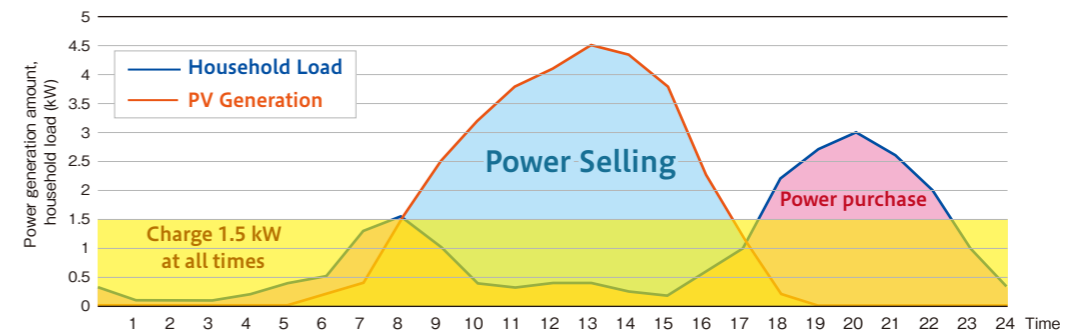
This mode increases energy savings by increasing self-generated power, thus reducing power purchased from the grid. This mode stores in the storage batteries surplus PV-generated power during the daytime and discharges power in the evening and overnight to cover the household load.



This mode minimizes power purchases from the grid by replacing it with clean renewable energy.

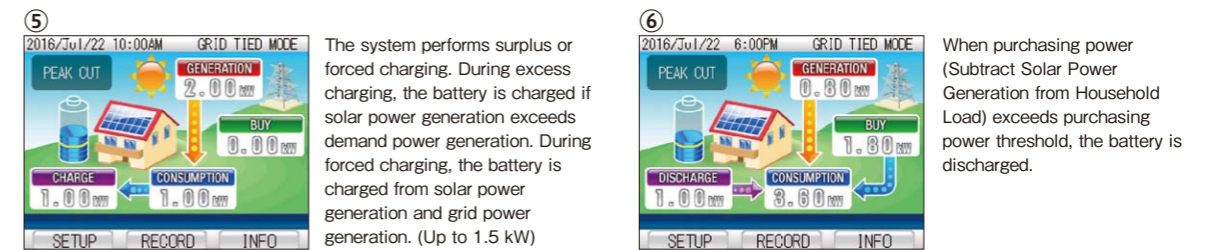
3 Home Backup Mode

This mode was designed for areas that are subject to a power outage to keep the storage batteries fully. It is charged at all times by using surplus PV-generated power during the daytime and purchasing power from the power company at night. After charging the storage batteries fully, it is standing by for a power outage.



4 Peak Cut Mode

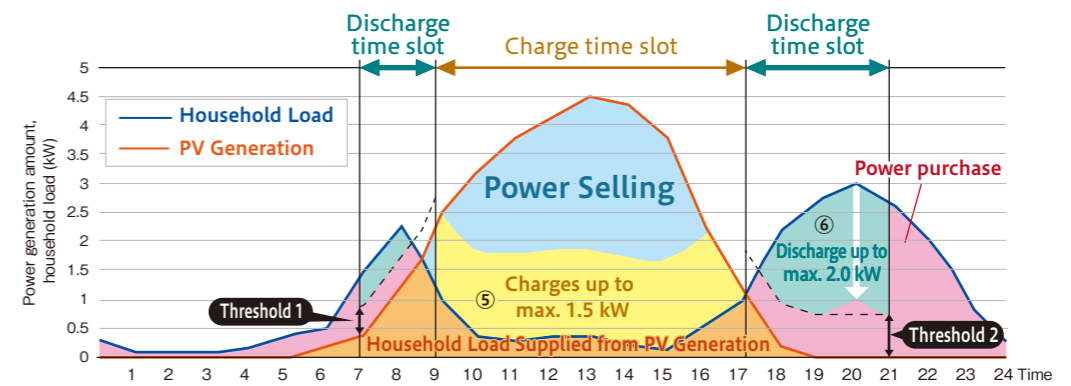
This mode cuts the peak during the specified time slot. The battery discharges in case the purchasing power exceeds the set value beforehand.



*This picture shows the excess charging.

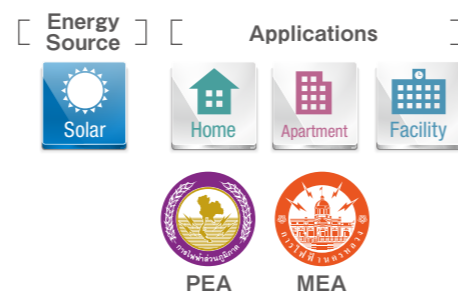
Features

1. A purchasing power threshold can be set for each discharge time slot.
2. Two discharge time slots can be set per day.
3. One charge time slot can be set per day.
4. The charging method can be selected during the charge time slot.



This mode can be used to reduce electricity charge increases caused by demand charges.

EPC-A-S35MPT/EPC-A-S55MPT 3.5 kW/5.5 kW Solar Inverter



For residential use

This galvanic isolating inverter is designed for residential rooftops. Equipped with a high frequency transformer. Two MPPT input string options: 3.5 kW (2 strings) or 5.5 kW (3 strings). Compatible with all types of solar cells.

- 1 Individual MPPT PV input string x 2 (3.5 kW)/x 3 (5.5 kW)
- 2 Max. DC input 2.15 kW/450 V per string
- 3 High frequency isolation transformer
- 4 Easy outdoor installation – Junction boxes or booster units are unnecessary

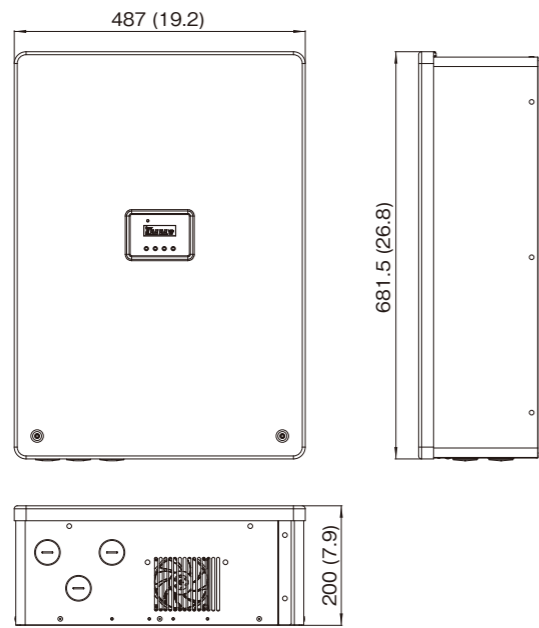
Specifications

Input (DC)	EPC-A-S35MPT	EPC-A-S55MPT
Usable input power per string	Rated: 1862 W, Max: 2150 W	Rated: 1950 W, Max: 2150 W
Max. input voltage	450 V	
Operation voltage range/rated input voltage	80 to 450 V/250 V	
MPPT voltage range	80 to 450 V	
Min. input voltage/starting voltage	80 V/100 V	
Number of MPPT inputs	2	3
Max. input operating current per string	10.3 A	
Output (AC: Grid connected)		
Grid connection type	Single-phase, 2-wire type	
Conversion method	Voltage type current controller method	
Rated output power*	3500 W	5500 W
Rated AC voltage	220 V (PEA)/230 V (MEA)	
Nominal AC voltage range	198 to 242 V (PEA)/200 to 240 V (MEA)	
Rated power frequency/Range	50 Hz/48.0 to 51.0 Hz (PEA), 49.0 to 51.0 Hz (MEA)	
Output current	Rated: 15.2 A, Max: 19.25 A (MEA) Rated: 15.9 A, Max: 19.4 A (PEA)	Rated: 23.9 A, Max: 30.25 A (MEA) Rated: 25A, Max: 30.5 A (PEA)
Power factor at rated output power	≥ 0.99	
Power factor control	lag 0.95 to lead 0.95 (PEA)	
Active power control	Available (PEA)	
Distortion rate of the output current	Total: less than 5%, Each: less than 3%	
Efficiency		
Efficiency	Max. 94.6% (DC250 V, 70% output), Typ. 94.3%	Max. 94.5% (DC250 V, 60% output), Typ. 94.0%
Protection		
Islanding operation detection: Passive	Frequency change rate detection method	
Islanding operation detection: Active	Frequency feedback method with step implantation	
General Data		
Dimensions (W/H/D)	487/681.5/200 mm (19.2/26.8/7.9 in)	
Weight	23 kg (51 lb)	26 kg (56 lb)
Installation location	Outdoor	
Operating temperature range	-20°C to +45°C (-4°F to +113°F)	
Noise emission (typical)	< 44 dB	
Internal consumption (night)	< 10 W	
Topology	High frequency isolated transformer method	
Cooling concept	Forced air cooling	
Enclosure rating	IP55 equivalent	
Features		
DC terminal	Terminal block (+, -) × 2	Terminal block (+, -) × 3
AC terminal	Terminal block (L, N)	
Grounding terminal	Terminal block (1 pole)	
Display	LED display	
Interface	RS-485	
Certification	PEA, MEA	

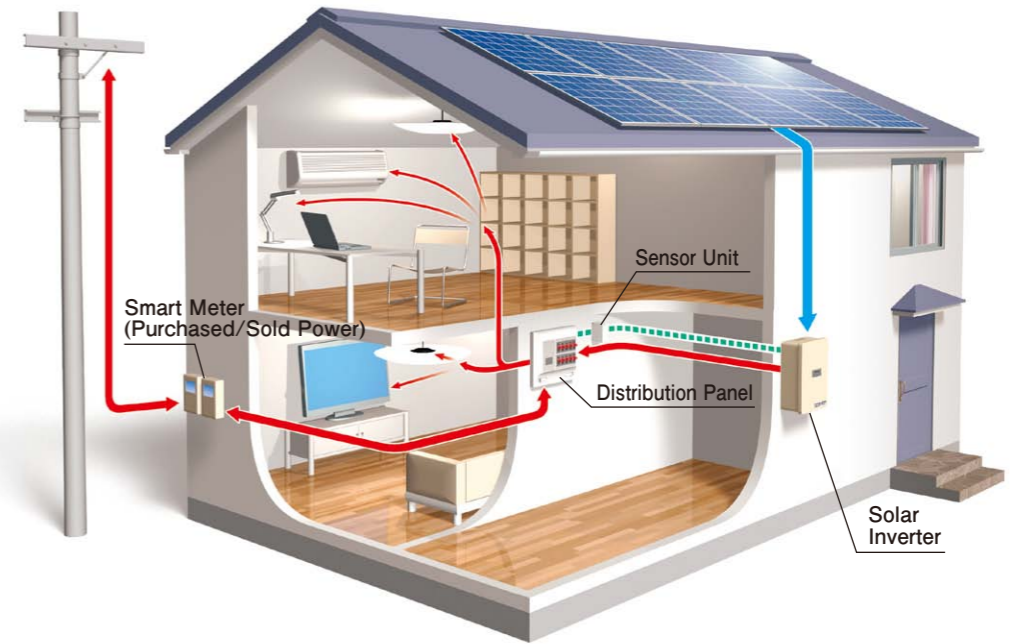
*1 Value calculated when all strings were in use.

Dimensions

Unit: mm (in)

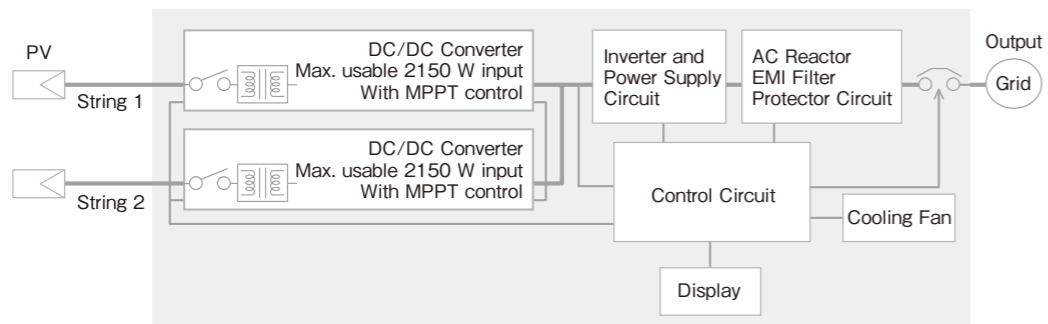


Installation Diagram

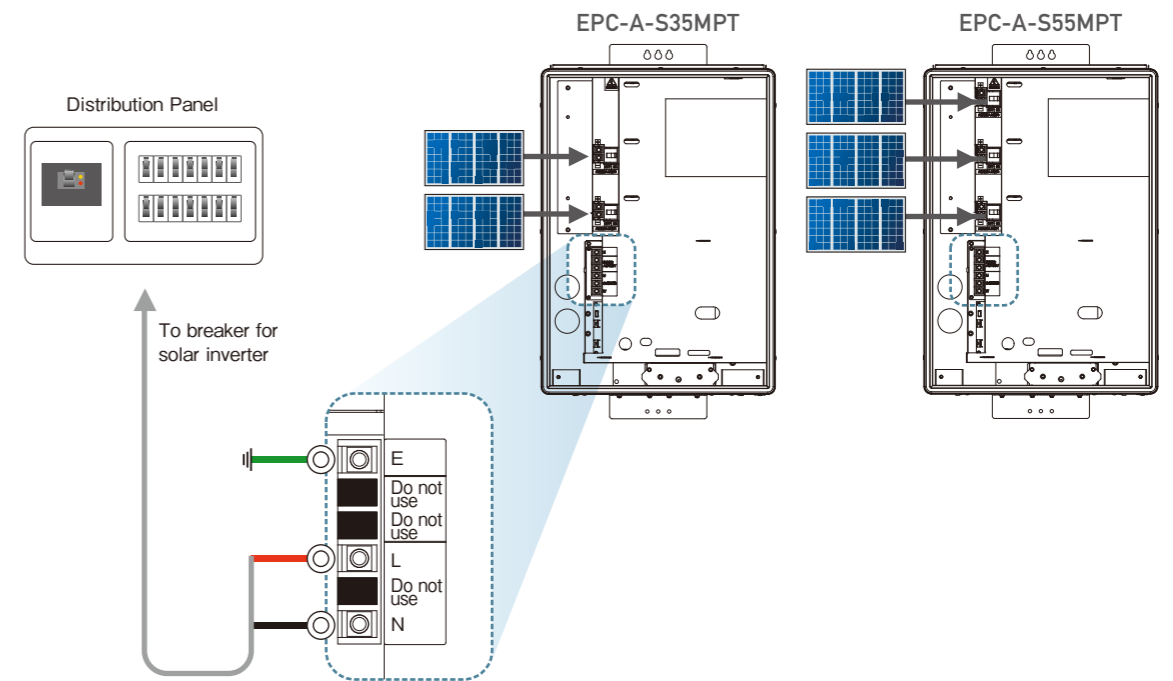
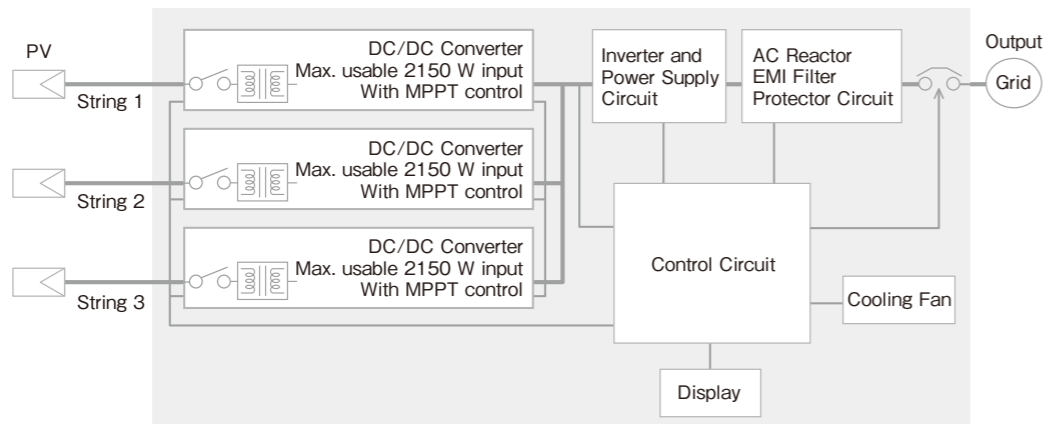


Block Diagram

EPC-A-S35MPT



EPC-A-S55MPT



Please refer to the Installation Manual for further details.

TPD-T250P6-TH Three-phase 25 kW Solar Inverter

[Energy Source] [Applications]



EOW-MBX04-TH (Required)

For High Voltage Grid-tied Utility Systems

Space-saving inverter for distributed generation.

Simple to install and maintain, and allows for detailed monitoring.

- 1 6 MPPT Input Strings – Max. 5.2 kW usable input DC/DC Converter x 6 Strings
- 2 97.4% Efficiency – 3 Level Inverter
- 3 Three-phase 380 V/400 V (PEA/MEA) AC Output – Lower BOS cost
- 4 Highly corrosion-resistant enclosure
- 5 Eliminates the need for combiner boxes – All PV module strings terminate at the Inverter
- 6 Monitoring and parameter setting via Master Box

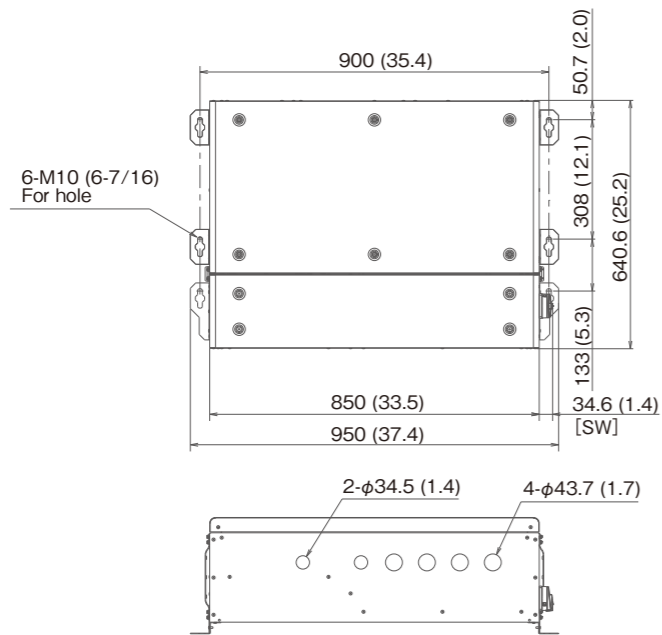
Specifications

Input (DC)	
Usable input power per string	Rated: 4300 W, Max: 5200 W (PEA)
Max. input voltage	1000 V
Operation voltage range/rated input voltage	200 to 1000 V/700 V
MPPT voltage range	500 to 800 V
Min. input voltage/start voltage	200 V/200 V
Number of MPPT inputs	6
Max. input operating current per string	10 A
Output (AC: Grid connected)	
Grid connection type	Three-phase, 4-wire + Ground
Conversion method	Vector modulation method
Rated output power**	25000 W
Rated AC voltage	380 V (220 V WYE) (PEA)
Nominal AC voltage range	342 to 418 V (198 to 242 V WYE) (PEA)
Rated grid frequency/Range	50 Hz/48.0 to 51.0 Hz (PEA)
Output current	Rated: 38 A, Max: 40 A (PEA)
Power factor at rated output power	≥ 0.99
Distortion rate of the output current	Total: less than 3%, Each: less than 3%
Efficiency	
Efficiency	Max. 97.4% (DC880 V, 75% output)
Protection	
Islanding operation detection: Passive	Frequency change detective method
Islanding operation detection: Active	Frequency shifting method
General Data	
Dimensions (W/H/D)	950/640.6/300 mm (37.4/25.2/11.8 in)
Weight	69.8 kg (153.9 lb)
Installation location	Outdoor
Operating temperature range	-20°C to +60°C (-4°F to +140°F)
Noise emission (typical)	≤ 50 dB (for reference)
Internal consumption (night)	< 12 W
Topology	Transformer-less
Cooling concept	Forced air cooling
Enclosure rating	Type 3 (NEMA 3 equivalent)
Features	
Constant power factor control	80% to 100%
DC terminal	Terminal block (+, -) × 6
AC terminal	Terminal block (L1, L2, L3, N)
Grounding terminal	Terminal block (FG + 8 poles)
Contact point output circuit	Yes
Controller	Master Box (Required)
Master Box for output control	EOW-MBX04-TH
Interface	RS-485
Certification	Pending (Applied for PEA)

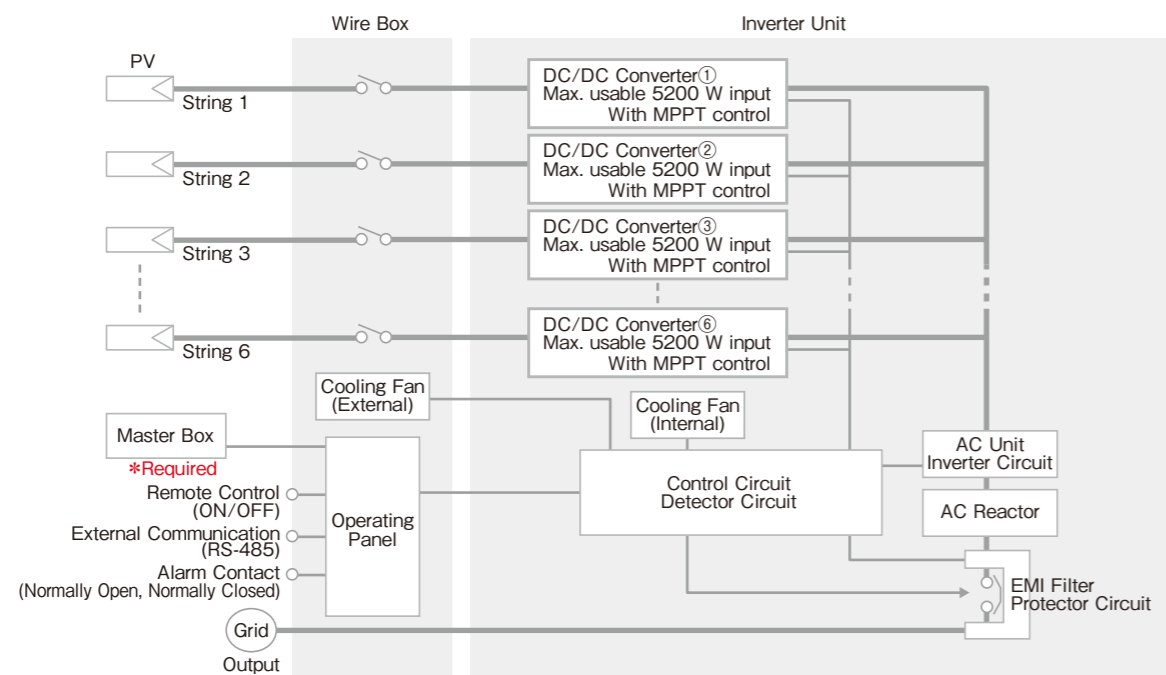
** When the Power factor is 100% during inverter operation at 380 V, 50 Hz.

Dimensions

Unit: mm (in)

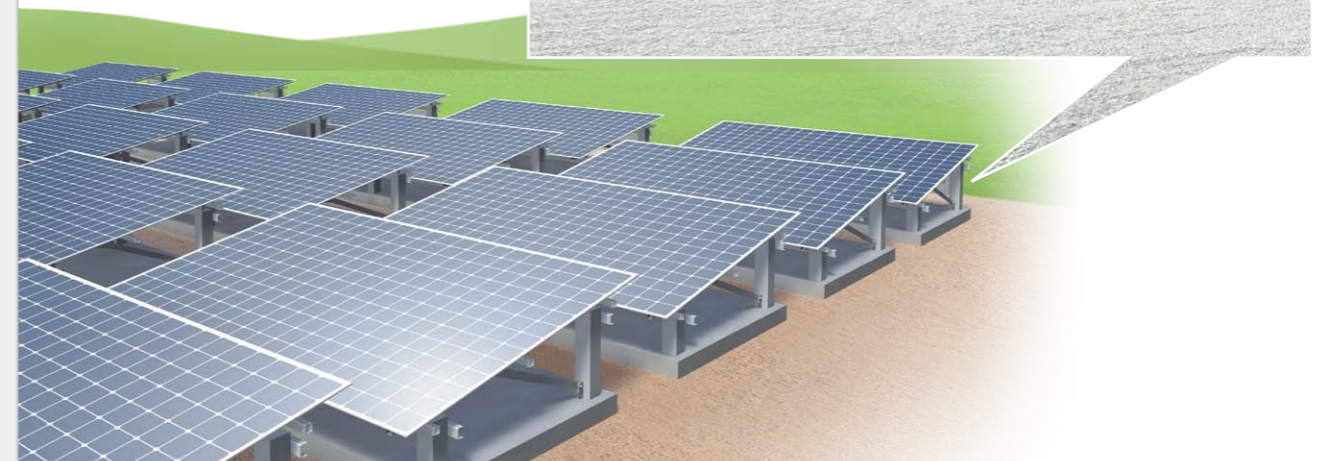
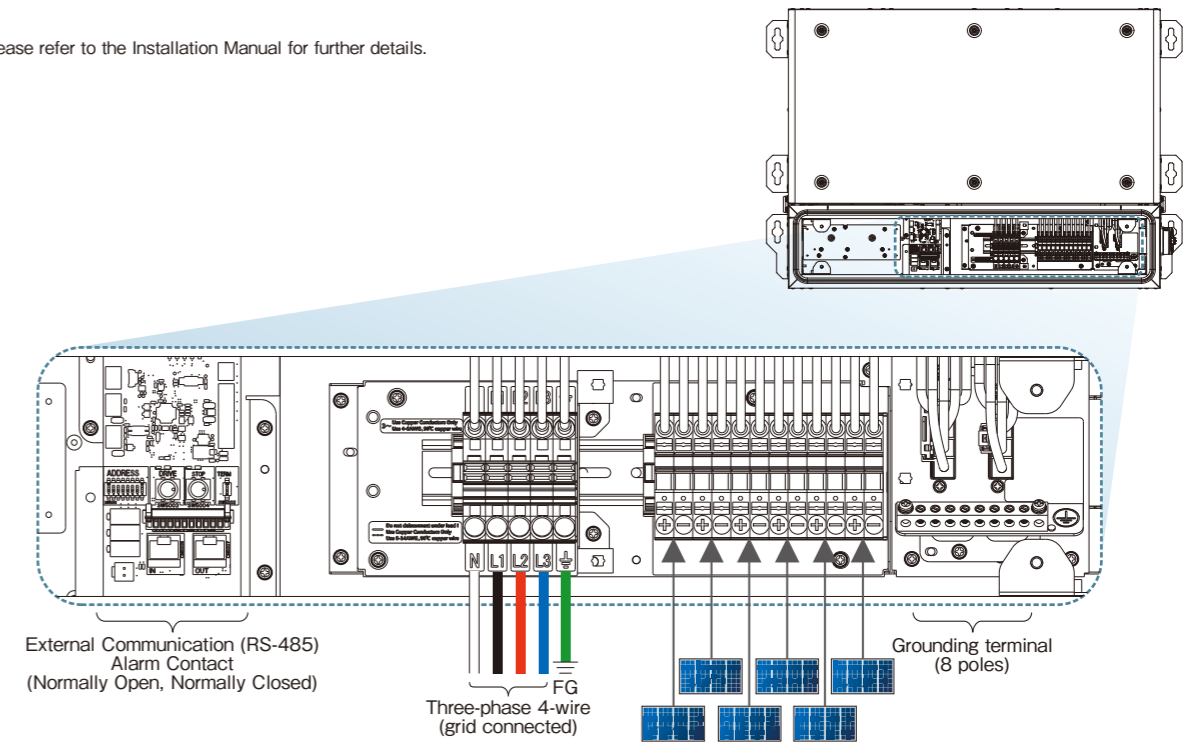


Block Diagram



Installation Diagram

Please refer to the Installation Manual for further details.



TDS001/TDS002 Stand-alone Inverter



Compact Stand-alone Inverter

This sleek, portable and lightweight stand-alone inverter is designed for mobile applications. With protection and storage functions, the inverter can be used for a variety of purposes, such as unelectrified areas and power outages caused by disasters.

- 1 Modified Sine Wave Output
- 2 Various Protection Functions
- 3 Battery Status LED Display
- 4 High Efficiency

Specifications

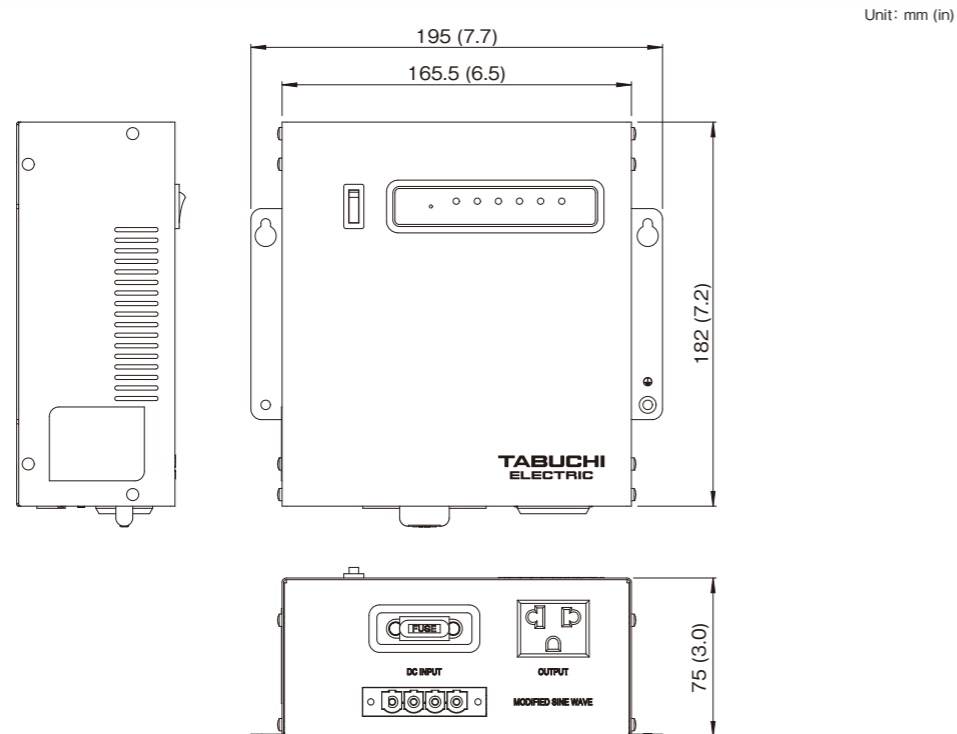
Input (DC)		TDS001	TDS002
Solar Panel (Recommended) Solar Panel to Battery	Solar panel type	Polycrystalline Silicon	Polycrystalline Silicon
	PV max. voltage	24 V	24 V
	Operation voltage range	12 to 24 V	12 to 24 V
	PV max. current	7 A	7 A
Battery (Recommended) Battery to Inverter	Battery type	Lead-Acid Battery	Lead-Acid Battery
	Storage capacity	40 Ah/65 Ah/120 Ah	40 Ah/65 Ah/120 Ah
	Nominal voltage	12 V	12 V
	Inverter voltage range	10.5 to 12.5 V	10.5 to 12.5 V
Inverter maximum current		18 A	18 A
Output (AC)			
Inverter	Rated output power	150 VA/150 W	150 VA/150 W
	Rated AC voltage	220 V	120 V
	Nominal AC voltage range	198 to 242 V	108 to 120 V
	Rated power frequency	50 Hz (±1 Hz)	60 Hz (±1 Hz)
	Max. output current	0.8 A	1.5 A
	Waveform	Modified Sine Wave	Modified Sine Wave
Protection			
Alarm		Reverse Polarity (Battery)	
		Over Temperature (Reset Automatically)	
		High/Low Battery Voltage (Reset Automatically)	
		Over/Under Voltage (Reset Automatically)	
		Over Current/Over Load	
		Over Charge/Discharge (Reset Automatically)	
		Surge Protection	
Indicator			
Solar charger		Battery Charging (Yellow)	
Battery level		Full Battery (Yellow)	
		Medium Battery (Yellow)	
		Low Battery (Yellow)	
Inverter		Normal Operate (Green)	
		Alarm (Red)	
Efficiency			
Max. Efficiency		Max. 93.6% (DC12.5 V, 65% output), Typ. 91.2%	TBD
General Data			
Dimensions (W/H/D)		165/182/75 mm (6.5/7.2/3.0 in)	
Weight		1.5 kg (3.3 lb)	
Installation location		Indoor	
Operating temperature range		±0°C to +45°C (+32°F to +113°F)	
Operating humidity range		0 to 95% (non-condensing)	
Topology		High frequency isolated transformer	
Cooling concept		Natural air cooling	
Feature			
DC Terminal		Pluggable Terminal Block × 4	
AC Terminal		AC Outlet Mounted Prong × 3	
Grounding terminal		Earth Ground Wall Mounted	
DC Fuse		Panel Mount Fuse Holder	
Display		LED Indicator	

*1 Use the solar panels and batteries according to the value specified in the table. Otherwise, the inverter may be damaged.

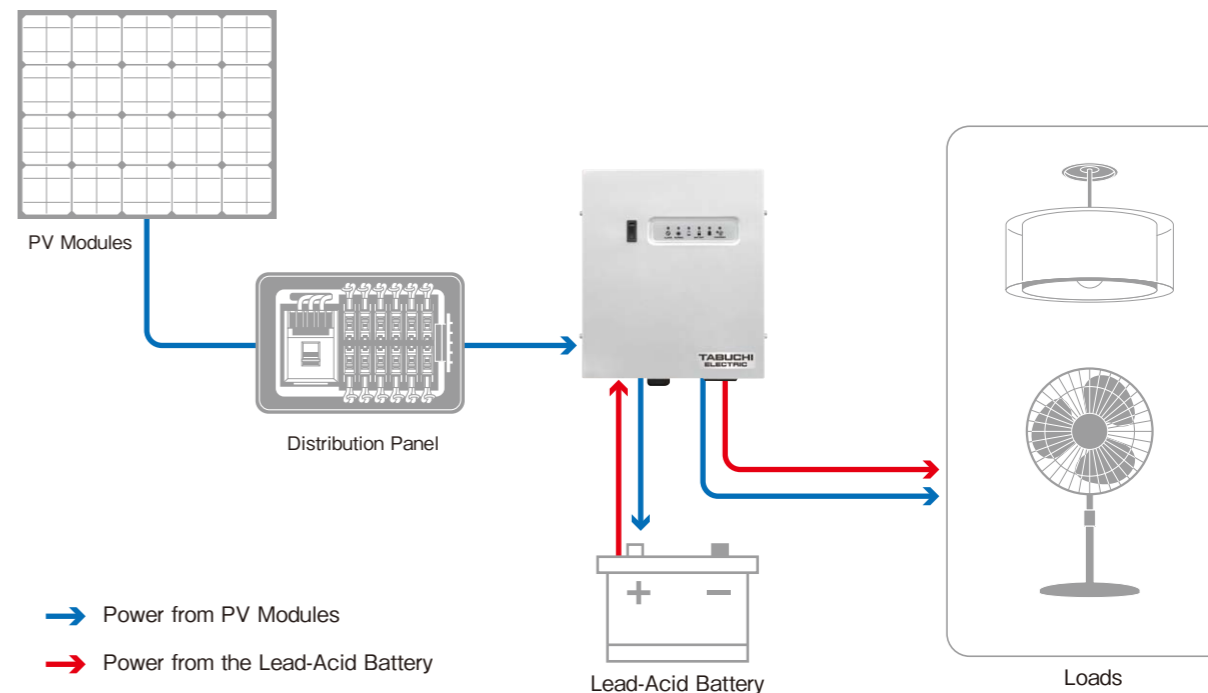
*2 Maximum efficiency was not calculated at maximum load.

*3 This inverter meets UL458 requirements.

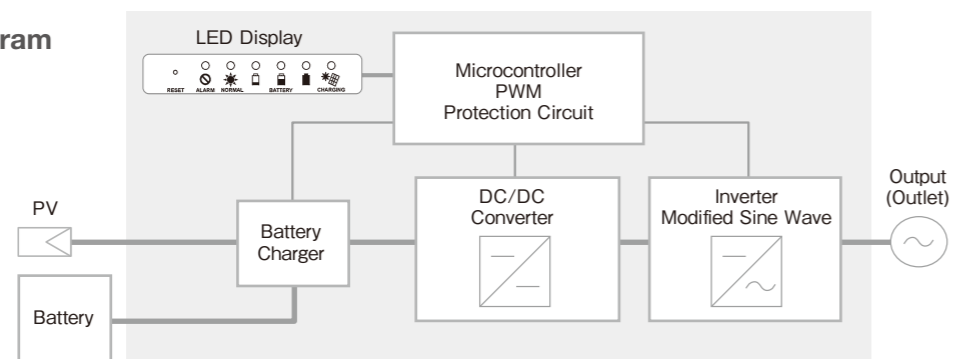
Dimensions



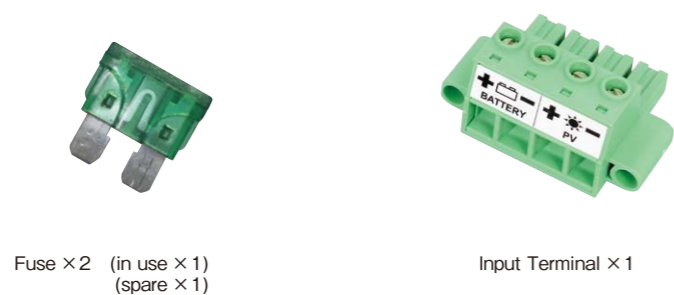
Energy Flow



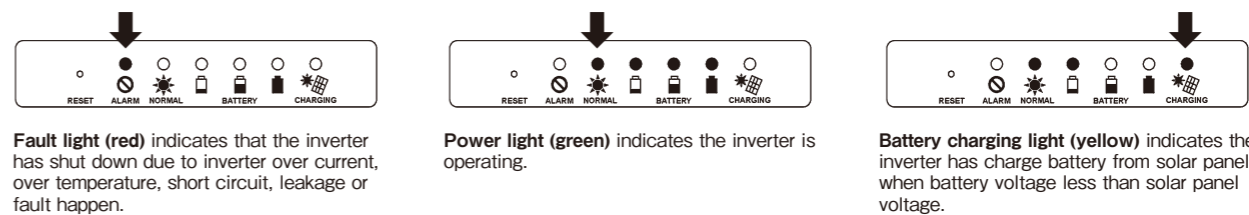
Block Diagram



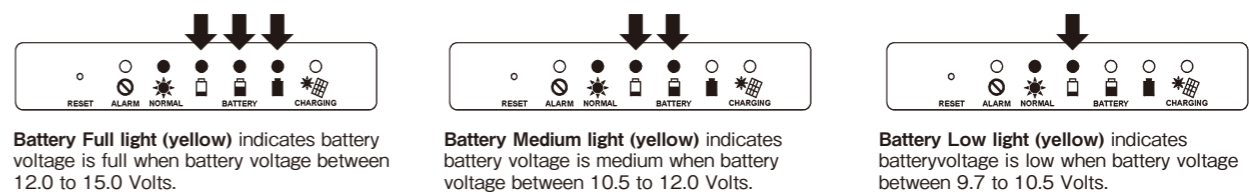
Included Devices



Indicators LED



Charge level



External control device for three-phase solar inverter

EOW-MBX03-US (compatible with EPW-T250P6-US/TPD-T250P6-US: Required)
EOW-MBX04-TH (compatible with TPD-T250P6-TH: Required)

Master Box

Collective control for multiple solar inverters.

Basic Functions

1 Remote Control

Start/Stop, Re-Start of Stopped Inverters, and Parameter Setting.

2 Display of Operating Status

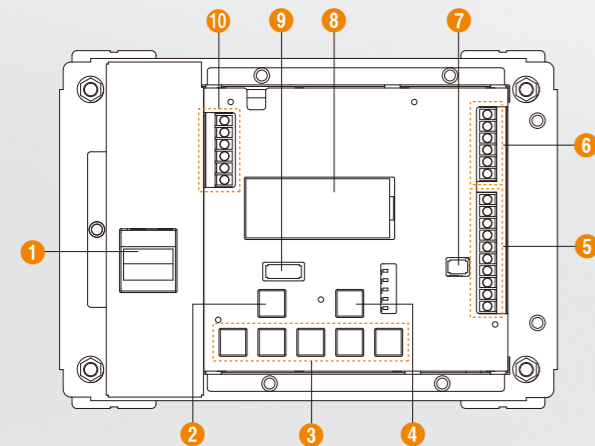
The state of the inverter is indicated by the LED display on the Control Board.

3 Number of Solar Inverters

Up to 20 solar inverters can be connected to a Master Box. Up to 10 Master Boxes may be networked together.



Internal Structure



- 1 Power SW**
Power switch to start Master Box.
- 2 START/STOP Button**
Start/Stop operation of connected inverters.
- 3 Operating Button**
Changes modes and Setting.
- 4 RE-START Button**
Use to manually recover when a malfunction has occurred.
- 5 RS485 COM Terminal**
Inverter or Master Box are connected by a RS485 signal.
- 6 REMOTE Terminal**
Not Used (Optional).
- 7 RS485 Termination SW**
Electric termination ON needed for the Master Box in the end position.
- 8 LCD Display Panel**
PV power Status, System Information, Parameter Set.
- 9 Master Box Address SW**
Sets the address of each Master Box when two or more Master Boxes are connected.
- 10 TEMP Irradiance Terminal**
Connected to cables from the pyrano meter and temperature meter via 4 to 20 mA transducers. (optional)

Basic Specifications

Exterior dimensions: 480 × 300 × 191 mm (18.9 × 11.8 × 7.5 in)
 (dustproof and waterproof (Type 3R))
 Weight: Approx. 12 kg (26 lb)
 Working temperature range: -20°C to +50°C (-4°F to +122°F)
 Rated input voltage: AC115 V (EOW-MBX03-US)
 AC220 V (EOW-MBX04-TH)
 Rated input current: 0.03 A (EOW-MBX03-US)
 0.02 A (EOW-MBX04-TH)
 Power consumption: Max. 3 W
 Installation method: Wall-mounted or rack-mounted

Samples LCD Display

■ Observation Mode Screen

Nov 1-12:00:00 Box00
 Status: Conn
 Power: 110.0kW
 Stop INV: No

System state
 Power for the entire system
 Shows whether inverters are stopped

Generating state for overall system

■ System Status Information Screen

[System Status] Info
 1 System Info <<
 2 AC Info <<
 3 Event History

■ System Value Setting Screen

[Parameter set]
 1 Over V1 <<
 2 Over V1 Time
 3 Over V2

Parameter setting

■ Event History Screen

[Error] 002
 Feb/01/2015-13:00:00
 INV**DDC1
 D-12 Over V

Date and time of occurrence
 Solar inverter identification name
 Error code

Error history

Individual Solar Inverter Screen

■ Generation Status Screen

Nov 1-12:00:00 INV01
 Status: Ope
 Power: 24.1kW
 Bus Voltage: 670.0V

Operation and status code
 Power Generation
 DC bus voltage

Generating status for individual solar inverter

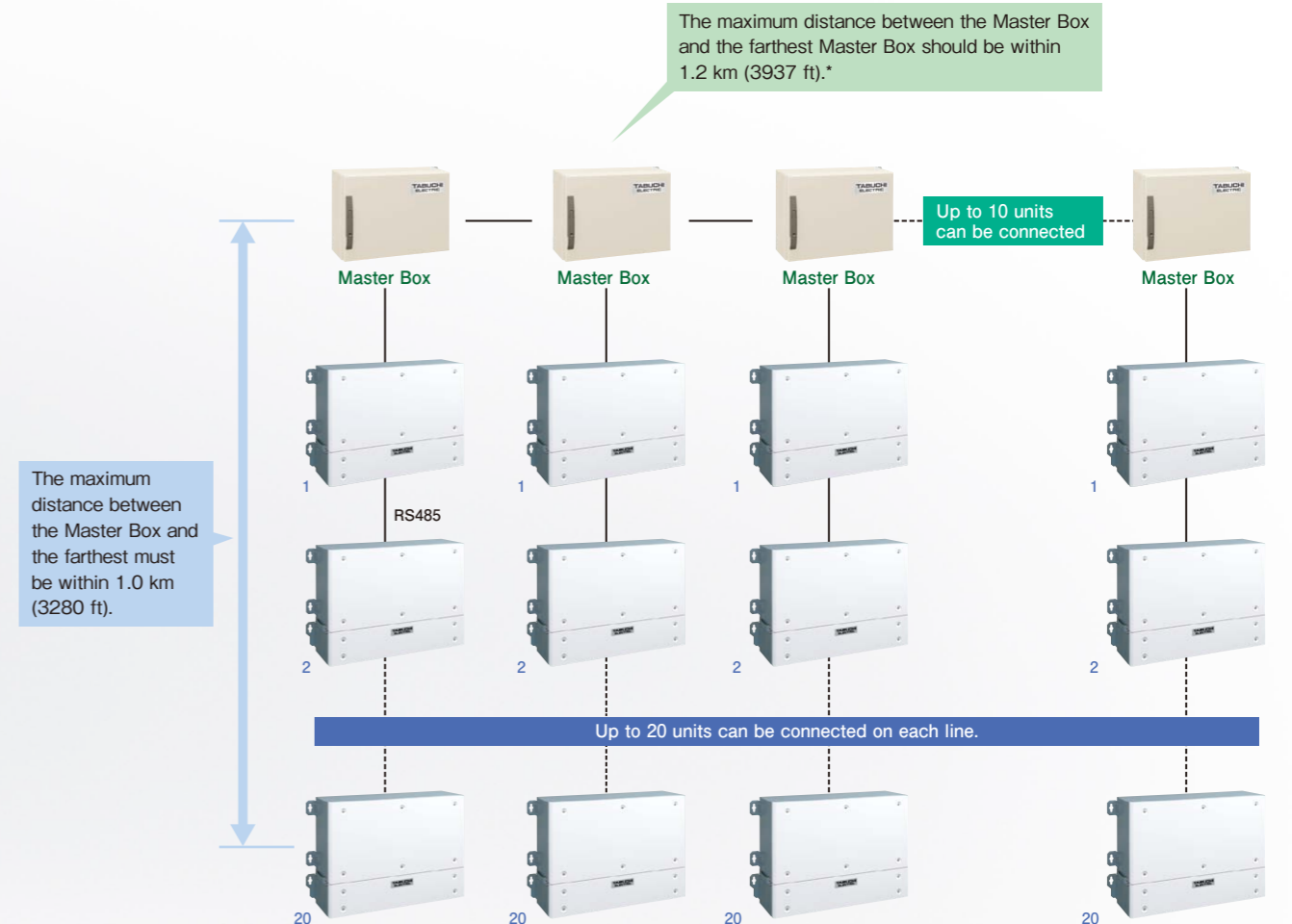
■ String PV power Status Screen

Nov 1-12:00:00 INV01
 PV1:3.0kW PV2:3.0kW
 PV3:3.0kW PV4:3.0kW
 PV5:3.0kW PV6:3.0kW

Series input circuit status

※The actual image differs slightly from the pictures shown.

Example of Master Box Configuration

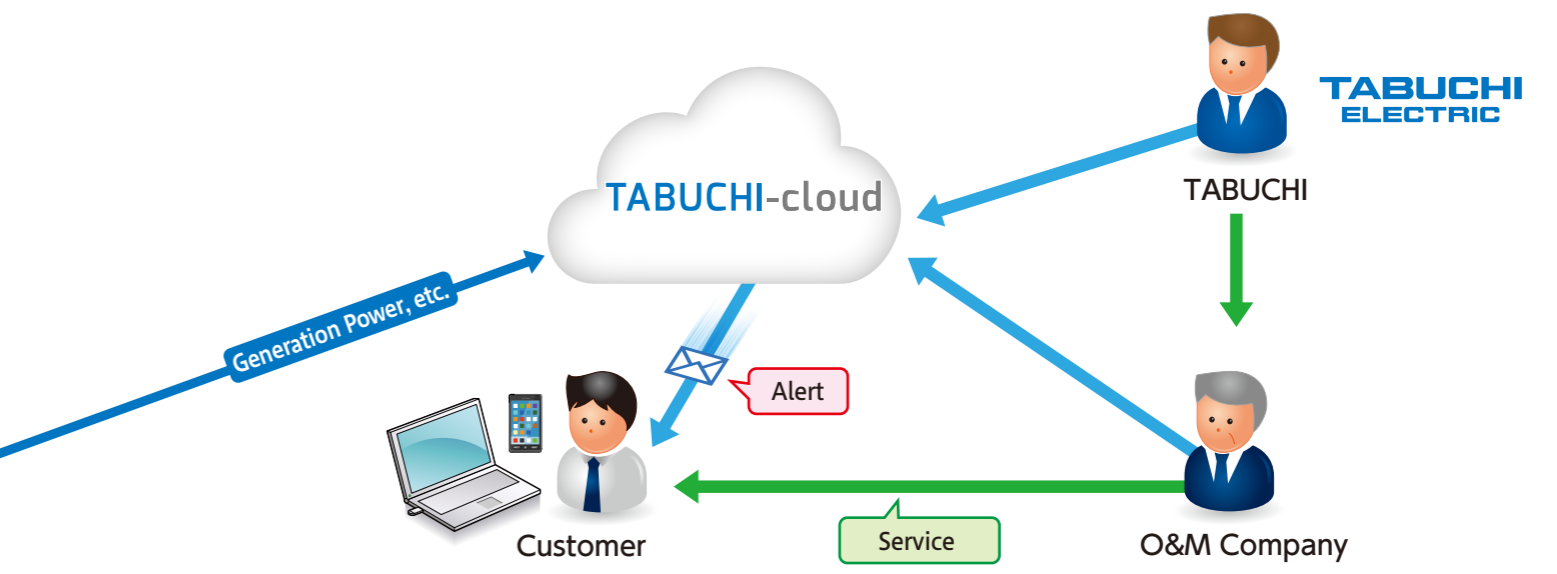
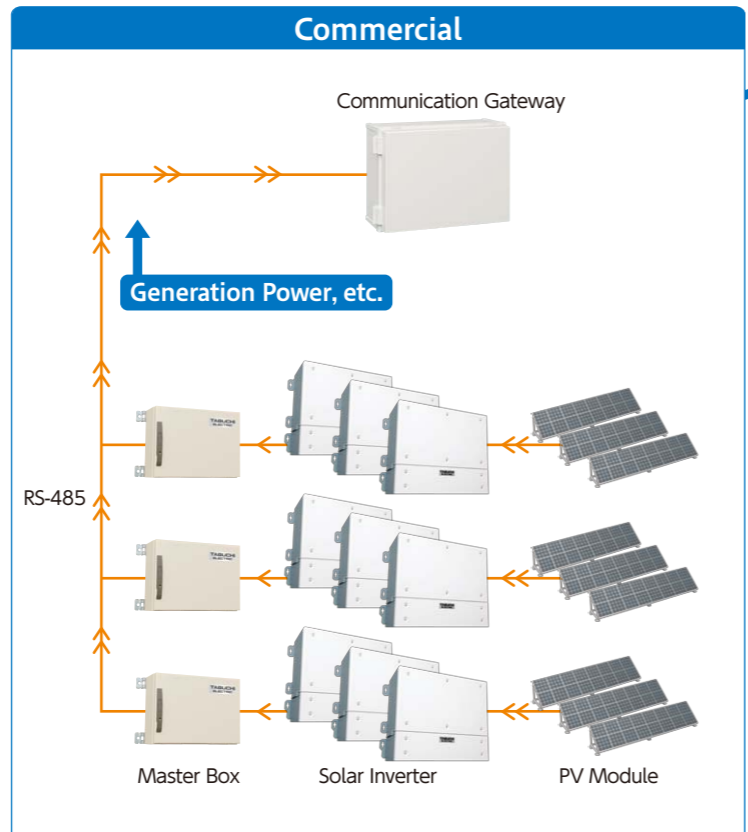
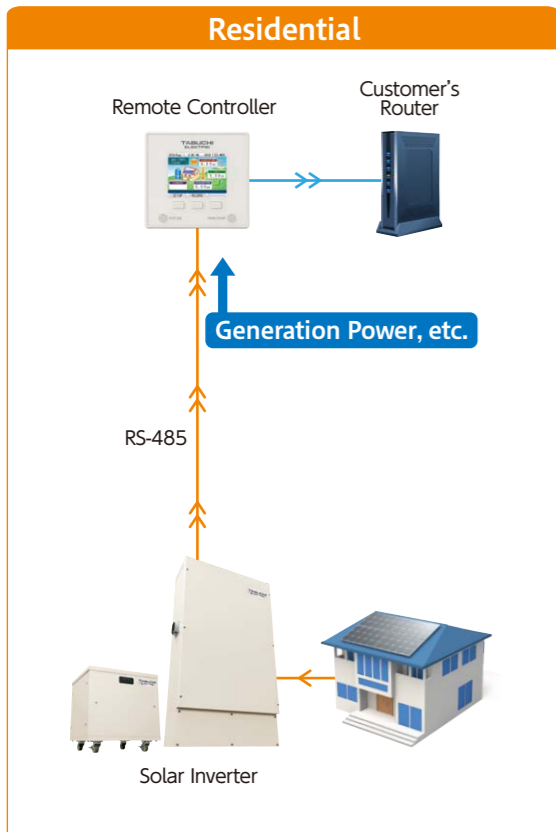


*Please refer to the Installation Manual for required installation conditions.

Monitoring System (TABUCHI-cloud) for USA/CANADA and Thailand Market

Under Development

Residential	Connecting the remote controller to the internet allows the customer to implement remote monitoring of the system.
Supported models	EHW-S55P3B-PNUS
Commercial	Connecting the communication gateway to the 3G network allows the customer to implement remote monitoring network.
Supported models	EPW-T250P6-US TPD-T250P6-US TPD-T250P6-TH



PC Screen

Monitoring Panel

Today's total power	575 kWh
Total power	149 kW
Irradiance	--- W/m ²
Temperature	--- °C
Sites	5
Alert sites	1

Power Generation Graph

Monitoring Generation by PC

Site	Site name	Inverter type	Capacity(kW)	Alert	Energy generation(kWh)	Power gen.	Temperature	Alert
Site 1	California	Two-phase 250V	1.6	0	108	1.1	0	0
Site 2	California	Two-phase 250V	1.6	0	108	1.1	0	0
Site 3	California	Two-phase 250V	1.6	0	108	1.1	0	0
Site 4	California	Two-phase 250V	1.6	0	108	1.1	0	0
Site 5	California	Two-phase 250V	1.6	0	108	1.1	0	0

String Monitoring

STRING1	STRING2	STRING3	STRING4	STRING5	STRING6	STRING7	STRING8
Instant power	Instant power	Instant power	Instant power	Instant power	Instant power	Instant power	Instant power
1.6 kW	1.6 kW	1.6 kW	1.6 kW	1.6 kW	1.6 kW	1.4 kW	1.5 kW

Basic Function

Common Function	Residential	<ul style="list-style-type: none"> • Generation Status Monitoring • Data download (CSV file)
	Commercial	<ul style="list-style-type: none"> • E-mail Alert • Smart Phone Monitoring
Limited Function	Commercial	<ul style="list-style-type: none"> • Collective control for multiple power plants
Network	Residential	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet
	Commercial	<ul style="list-style-type: none"> • 3G network

Smart Phone Screen

Monitoring
























































Graph

Comparison

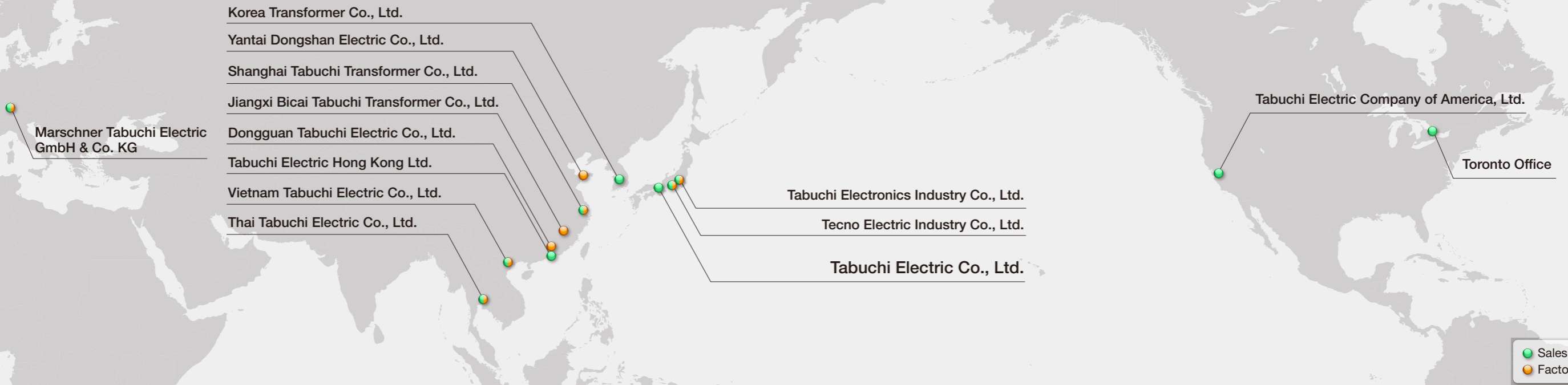
Monitoring Data (Main)

Application	Monitoring Interval	Date Item
Residential	30 min.	AC power generation Grid power generation Grid frequency Alert, etc
Commercial	10 min.	AC power generation Grid power generation Grid frequency Alert Outside temperature (Option) Solar irradiance (Option)
	Real time	Alert

Japan Product Lineup

Product Name	Energy Source	Applications	Installation Location	Installation Method	Number of Strings	Topology	Display/Operation
 4.0 kW		 	Outdoor	Wall-mounted	2	High Frequency Isolated Transformer	Color LCD Remote Controller
 4.9 kW		 	Outdoor	Wall-mounted	3	High Frequency Isolated Transformer	Color LCD Remote Controller
 5.5 kW		   	Outdoor	Wall-mounted	3 4	High Frequency Isolated Transformer	Color LCD Remote Controller
 Single-phase 9.9 kW		   	Outdoor	Wall-mounted	5	High Frequency Isolated Transformer	Color LCD Remote Controller
 Single-phase 9.9 kW		   	Outdoor	Wall-mounted	5	High Frequency Isolated Transformer	Color LCD Remote Controller
 Three-phase 9.9 kW		  	Outdoor	Wall-mounted Rack-mounted	5	High Frequency Isolated Transformer	Chassis-embedded Master Box
 Three-phase 25 kW			Outdoor	Wall-mounted Rack-mounted	6	Transformer-less	Chassis-embedded Master Box
 Three-phase 33 kW			Outdoor	Wall-mounted Rack-mounted	7	Transformer-less	Chassis-embedded Master Box
 Three-phase 25 kW			Outdoor	Wall-mounted Rack-mounted	8	Transformer-less	Chassis-embedded Master Box
 Hybrid Inverter PV: 5.5 kW Battery: 9.89 kWh	 	 	Outdoor (Battery unit must be installed indoors)	Floor-mounted	3	High Frequency Isolated Transformer	Color LCD Remote Controller
 Portable battery storage system Battery: 2.5 kWh		  	Indoor	Floor-mounted	—	—	Unit Panel
 Portable battery storage system Battery: 5.0 kWh		  	Indoor	Floor-mounted	—	—	Unit Panel

Tabuchi Electric Global Network



Facilities in Japan

Please contact us by submitting online inquiry form.

Facilities outside Japan

Please contact us by submitting online inquiry form.



Tabuchi Electric Co., Ltd. head office
 Nissay Shin-osaka Bldg., 3-4-30 Miyahara,
 Yodogawa-ku, Osaka, 532-0003, Japan
 TEL: +81-6-4807-3500 FAX: +81-6-4807-3502



Tabuchi Electric Co., Ltd. Tokyo branch office
 Kinsan Bldg., 3-18-3 Kanda nishiki-cho, Chiyoda-ku,
 Tokyo, 101-0054, Japan
 TEL: +81-3-5259-6250 FAX: +81-3-5259-6251



Tabuchi Electric Co., Ltd. Chubu office
 Terminal Plaza, 61 Shirakawa-cho, Toyohashi City,
 Aichi, 441-8021, Japan
 TEL: +81-532-34-4550 FAX: +81-532-34-4551



Tabuchi Electronics Industry Co., Ltd.
 1475 Wakakusa 1-chome, Otawara City,
 Tochigi, 324-0021, Japan
 TEL: +81-287-22-3885 FAX: +81-287-23-6090



Tecno Electric Industry Co., Ltd.
 345 Tokawa, Hadano-city, Kanagawa, 259-1306, Japan
 TEL: +81-463-75-4100 FAX: +81-463-75-4109



Shanghai Tabuchi Transformer Co., Ltd.
 No. 205, Fangsi RD., Si Jing District, Shanghai,
 201601, China
 TEL: +86-21-576-36475 FAX: +86-21-576-36852



Thai Tabuchi Electric Co., Ltd.
 88 Moo 5 Bangna-Trad Highway, Tambol Bangsamuk,
 Amphur Bangpakong, Chachoengsao, 24130, Thailand
 TEL: +66-38-538-982 FAX: +66-38-538-987



Tabuchi Electric Hong Kong Ltd.
 Unit 2606, 26F, Miramar Tower, 132 Nathan Road,
 Tsimshatsui, Kowloon, Hong Kong
 TEL: +852-2563-9100 FAX: +852-2563-9616



Dongguan Tabuchi Electric Co., Ltd.
 No.2, Industrial Zone, Hetain Village Houjie Town,
 Dong Guan City, Guangdong Province, China
 TEL: +86-769-8583-2800 FAX: +86-769-8583-2801



Vietnam Tabuchi Electric Co., Ltd.
 Lot I3, Dai Dong Hoan Son
 Industrial Park, Bac Ninh Province, Vietnam
 TEL: +84-241-384-7435 FAX: +84-241-384-7437



Korea Transformer Co., Ltd.
 8th floor, DDS building, Doksan-Dong,
 Geumcheon-Gu, Seoul, Korea
 TEL: +82-2-856-8951 FAX: +82-2-864-2456



Yantai Dongshan Electric Co., Ltd.
 Qixia Economic Development Zone, Yantai,
 Shandong, China
 TEL: +86-535-557-3141 FAX: +86-535-557-3140



Jiangxi Bicai Tabuchi Transformer Co., Ltd.
 Chunshui RD. Yichun Economic Development Zone,
 Yichun City, Jiangxi, China
 TEL: +86-795-2170998 FAX: +86-795-2170996



Tabuchi Electric Company of America, Ltd.
 5225 Hellyer Avenue, Suite 150
 San Jose, CA, 95138, U.S.A.
 TEL: +1-408-224-9300

Toronto Office
 151 Yonge Street, 11th Floor, Toronto, Ontario,
 Canada M5C 2W7

Marschner Tabuchi Electric GmbH & Co. KG
 Siemensstrasse 11 78564 Wehingen Germany
 TEL: +49-7426 609-0 FAX: +49-7426 609-10

Topics

We are developing new products with Geli

Solar inverter manufacturer Tabuchi Electric has partnered with Geli, a software provider for battery storage and microgrids, to provide a residential solar-plus-storage solution to accelerate the residential solar market.

Through this partnership, a solar-plus-storage solution will be created by combining Geli's software with Tabuchi's hardware to optimize grid performance.

Tabuchi's Eco Intelligent Battery System (EIBS) residential solar-plus-storage solution integrated with Geli's Energy Operating System software will systematically manage energy flow from the home to the grid when connected to solar installations and smart home devices such as smart thermostats and pool pumps.

About Geli

Geli provides software and business solutions to design, connect, and operate energy storage and microgrid systems. Geli's suite of products creates an ecosystem where project developers, OEMs, financiers, and project operators can deploy advanced energy projects using a seamless hardware-agnostic software platform. Geli ESyst™ is an online design tool for the analysis and design of energy storage and microgrids. Geli EOS™, short for Energy Operating System, is a software platform that allows for advanced functionality of any OEM equipment via Geli Energy Apps & Geli Energy Drivers. Geli GENI™, which stands for Global Energy Network Interface, is the portal through which systems are monitored for performance and can be aggregated for virtual power-plant services.



Memo



Please read this user's manual carefully prior to operation.

Safety Precautions

- We do not guarantee and will not repair solar inverters that have malfunctioned due to improper use that does not conform with the user manual, installation manual, precautions, etc.
 - Do not connect life-sustaining medical devices to the inverter load as failure or malfunction of such devices may result in bodily injury or a direct threat to human life.
 - Do not operate the inverter in a location where the inverter may cause bodily injury or result in a direct threat to human life.
 - Do not expose the inverter to excessive steam, oily spray, smoke, dust, salt, corrosive materials, explosive/flammable gases, chemical agents, vibration, or fire. Please contact your distributor or installer for more details regarding installation.
 - Do not use products for any other purpose other than their intended use as listed in the catalog. (See the Lineup page.)
- We recommend regular maintenance to ensure long-term use of the solar inverter.
- Catalog contents and product specifications may change without notice.
- Installation should be performed by qualified and licensed installers.
- Do not disassemble, alter, or modify any Tabuchi products.