

BAB II

2.1. Literature review

Ide di balik transfer daya nirkabel adalah terobosan dan adopsi berskala besar akan menjadi terobosan terbesar di bidang transfer energi. Sama seperti komunikasi nirkabel telah mengubah cara kita berkomunikasi, listrik nirkabel akan membuka pintu ke jalan ilmiah baru. Untuk membuat transfer energi nirkabel layak secara komersial, para peneliti masih perlu meningkatkan efisiensi transfer energi dan mengembangkan sirkuit yang dapat bekerja dengan tingkat daya yang sangat kecil. Dalam makalah ini kami telah menyajikan gambaran singkat tentang teknik yang saat ini sedang dieksplorasi untuk mentransfer daya tanpa kabel. Dari berbagai metode transfer energi tanpa kabel, pilihannya bergantung pada faktor-faktor seperti jarak, media, aplikasi, kompleksitas, dan biaya(**Kshatsari, Shretha dan Bhanu, 2015**).

Penelitian yang dilakukan oleh Supriyadi,dkk. Membahas pengembangan sistem transfer daya dengan kopling induktif, dari penelitian ini diperoleh efisiensi daya pada jarak 1 cm sekitar 1,51% dengan menggunakan bebabn LED 1 Watt (**SuPriyadi dan Rakhman, 2017**).

Penelitian yang dilakukan oleh Kumaran. Penelitian ini menyajikan topologi transfer daya nirkabel untuk konsumen elektronik dan kendaraan listrik. Fokus utama diberikan pada DCAC frekuensi tinggi dan tahap transfer daya nirkabel AC-DC di mana tahap inversi adalah topologi yang diberi tegangan. Resonansi yang diperlukan di sisi pemancar adalah tipe (C) (LC) dan di sisi penerima jenis seri (LC)(**Kumaran dan Alamelu, 2017**).

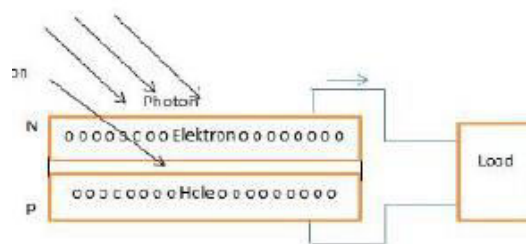
Penelitian yang dilakukan Xu liu, dkk. Penelitian metode desain sistem kumaran diusulkan untuk sistem WPT dengan persyaratan yang diberikan pada tegangan & arus input DC, tahanan beban, dan frekuensi resonansi. Dengan metode desain koil yang diusulkan, sistem WPT dapat menghasilkan arus / daya input DC yang sama dengan tegangan input DC yang sama untuk menambah beban yang sama tetapi pada frekuensi resonansi yang berbeda. Secara efektif dapat mengurangi ukuran dan berat kumaran atau meningkatkan jarak transfer

daya tanpa memperjelas kapasitas transfer daya sistem. Meskipun metode desain dalam pekerjaan ini digunakan untuk merancang sistem kumparan sesuai dengan frekuensi resonansi dan parameter input spesifiknya, metode ini juga cocok untuk memenuhi persyaratan tegangan output, daya output, dan efisiensi sistem, dll. Untuk sistem WPT dengan yang lebih tinggi frekuensi resonansi, metode sederhana untuk frekuensi tuning mengemudi disajikan, yang tidak perlu mengubah topologi dan komponen sistem WPT. (Liu, 2018).

2.2. Teori Pendukung

2.3.1. Panel Surya

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel (Quaschnig, 2005). Suatu sistem atau cara langsung (*direct*) untuk mentransfer radiasi matahari atau energy cahaya menjadi energy listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energy cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya *voltase* listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat di *expose* dibawah energi cahaya. Efek *photovoltaic* pertama kali dikenali pada tahun 1839 oleh fisikawan Perancis Alexandre-Edmond Becquerel (Fernando, 2014). Gambar 2.1 menunjukkan cara kerja bagaimana panel surya menangkap cahaya matahari sehingga menjadi energi listrik yang mengalir menuju beban.



Gambar 2.1 Prinsip kerja panel surya

Sumber : Fernando,(2014)

Energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik disebut juga dengan energi photovoltaic. Pada awalnya teknologi ini digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah pedesaan terpencil kemudian berkembang menjadi lampu penerangan jalan berenergi surya, penyediaan listrik di tempat umum seperti rumah peribadatan, pelayanan kesehatan, instansi-instansi pemerintah. Walaupun awalnya hanya cukup untuk kebutuhan penerangan namun PLTS cukup membantu elektrifikasi di tempat yang membutuhkan. Selain itu telah tersedia pula pompa air tenaga surya, yang digunakan untuk pengairan irigasi atau sumber air bersih (air minum)(Hasan, 2012). Dapat dilihat Gambar 2.2 salah satu pembangkit listrik tenaga surya yang bersekala kecil.



Gambar 2.2 Pembangkit listrik tenaga surya

Sumber : Hasan,(2012)

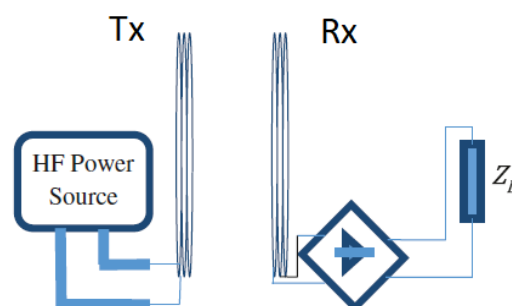
2.3. Wireless Power Transmission

Wireless power transmission (WPT) adalah metode transmisi daya listrik dari satu titik ke titik lain melalui media vakum atau udara bebas tanpa menggunakan kabel (nirkabel). *Wireless power transmission* dapat dikategorikan berdasarkan mekanisme pengiriman, jarak pengiriman, dan besarnya daya yang dikirim. Berdasarkan jaraknya, WPT dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu *near field* (jarak dekat) dan *far field* (jarak jauh). Jika jarak pengiriman lebih panjang dibanding panjang gelombang elektromagnetik pembawa maka dikategorikan sebagai *far field*. Kopling induktif dan kopling magnetik resonansi dikategorikan kedalam *near field*. Walaupun metode *far field* menawarkan jarak pengiriman yang lebih jauh, tetapi metode ini mempunyai kelemahan pada sisi arah pengiriman dan efisiensi. Jangkauan frekuensi untuk metode *far field*

biasanya berada dalam orde tinggi (dalam orde GHz), sedangkan metode *near field* memiliki jangkauan frekuensi yang lebih rendah yaitu pada orde kHz sampai dengan MHz. Metode kopling induktif dapat mengirimkan daya yang besar dengan efisiensi yang cukup bagus pada jarak maksimum beberapa centimeter. Tetapi efisiensi pada metode *near field* berkurang secara eksponensial terhadap jarak antara pengirim dan penerima.

Pengiriman daya nirkabel secara induktif (kopling induktif) didasarkan hasil percobaan induksi Faraday dan hukum rangkaian Ampere. Medan magnet yang terintegrasi berdasarkan *loop* arus yang dibawa oleh kumparan *transmitter* didefinisikan sebagai hukum rangkaian Ampere. Berdasarkan hukum induksi Faraday, medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu menginduksi kumparan *receiver* sehingga menghasilkan GGL. Metode ini dibatasi oleh jarak efektif hanya beberapa centimeter.

Metode kopling resonansi magnetik memanfaatkan efek resonansi yang terjadi akibat induktansi diri dan kapasitansi parasitik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Kadang kala kapasitor eksternal ditambahkan ke rangkaian saat kapasitansi parasit tidak cukup kuat untuk menghasilkan nilai frekuensi resonansi yang diinginkan. Metode kopling resonansi magnetik dioperasikan pada frekuensi orde MHz. Metode kopling resonansi magnetik ini menawarkan jarak yang lebih jauh dibanding metode kopling induktif. (Vilathgamuwa, 2015)



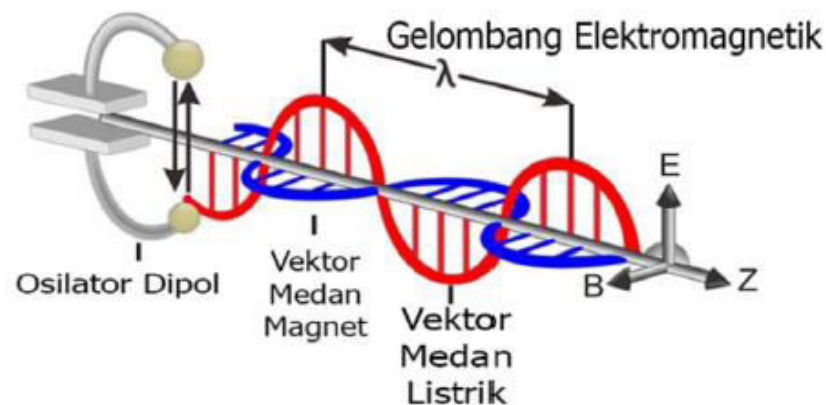
Gambar 2.3 Contoh transfer daya nirkabel

Sumber : Vilathgamuwa,(2015)

2.3.1. Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah peristiwa timbulnya GGL (Gaya Gerak Listrik) pada suatu penghantar atau kumparan akibat mengalami perubahan garis-garis gaya magnet (fluks magnetik)(**Young, 2001**). Kemagnetan dan kelistrikan merupakan 2 gejala alam yang prosesnya dapat dibolak-balik ketika H.C Oersted membuktikan bahwa di sekitar kawat berarus listrik terdapat medan magnet (artinya listrik menimbulkan magnet). Para ilmuwan mulai berpikir keterkaitan antara kelistrikan dan kemagnetan. Dalam eksperimen yang dilakukan oleh H.C Oersted, Biot-Savart dan Ampere menyatakan bahwa adanya gaya dan medan magnet pada kawat berarus. Pada awal tahun 1930, Michael Faraday dan Joseph Henry melakukan sebuah percobaan untuk mencari tahu atas apa yang telah dilakukan oleh H.C. Oersted melalui eksperimen yang sangat sederhana. Sebuah magnet yang digerakkan masuk dan keluar pada kumparan dapat menghasilkan arus listrik pada kumparan itu. Galvanometer merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengetahui ada tidaknya arus listrik yang mengalir. Ketika sebuah magnet yang digerakkan masuk dan keluar pada kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kanan dan ke kiri. Bergeraknya jarum galvanometer menunjukkan bahwa magnet yang digerakkan keluar dan masuk pada kumparan menimbulkan arus listrik. Arus listrik bisa terjadi jika pada ujung-ujung kumparan terdapat GGL. GGL yang terjadi di ujung-ujung kumparan dinamakan GGL induksi. Arus listrik hanya timbul pada saat magnet bergerak. Jika magnet diam di dalam kumparan, di ujung kumparan tidak terjadi arus listrik(**Kautsar, 2010**).

Medan elektromagnet dapat digolongkan dalam medan listrik dan medan magnet. Medan magnet jauh lebih aman bila dibandingkan dengan medan listrik, oleh karena itu medan magnet menjadi pilihan yang paling tepat untuk digunakan sebagai media pengiriman energi jika dibandingkan dengan medan listrik dalam pemanfaatannya untuk perpindahan energi secara resonansi elektromagnet. Gambar 2.4 memperlihatkan bahwa gelombang elektromagnetik memiliki dua komponen pokok, yaitu komponen elektrik dan komponen magnetik(**Hulaimi, 2016**).



Gambar 2.4 Gelombang elektromagnetik

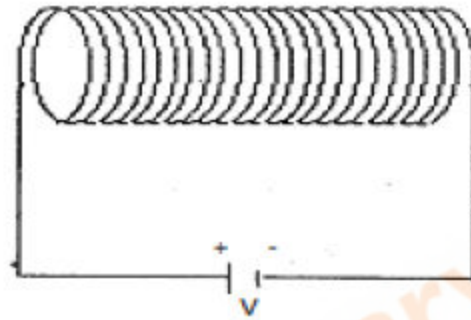
Sumber : Hulaimi,(2016)

Informasi yang diperoleh melalui gelombang elektromagnetik dapat dilihat dari frekuensi, intensitas atau polarisasi gelombang elektromagnetik tersebut. Radiasi elektromagnetik membawa energi dalam perjalanannya. Energi yang tertangkap oleh sensor dipengaruhi oleh bentuk fisik objek dan kondisi atmosferik.

Menurut percobaan Michael Faraday pada tahun 1821 ditunjukkan bahwa medan magnet yang berubah-ubah nilai fluksnya dapat menghasilkan arus listrik. Faraday menyimpulkan medan magnet konstan tidak dapat menghasilkan arus, namun perubahan fluks medan magnetik di dalam suatu rangkaian bahan penghantar akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut (hukum Faraday). Gerakan magnet di dalam kumparan menyebabkan jarum galvanometer menyimpang. Jika kutub utara magnet digerakkan mendekati kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kanan. Jika magnet diam dalam kumparan, jarum galvanometer tidak menyimpang. Jika kutub utara magnet digerakkan menjauhi kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kiri. Penyimpangan jarum galvanometer tersebut menunjukkan bahwa pada kedua ujung kumparan terdapat arus listrik. Peristiwa timbulnya arus listrik seperti itulah yang disebut induksi elektromagnetik. Bila fluks magnetik jatuh pada suatu penghantar berbentuk kumparan, maka dalam penghantar akan timbul gaya gerak listrik yang disebut gaya gerak listrik induksi atau imbas. Perubahan fluks magnetik pada kumparan dapat diperoleh

dengan cara menggerakkan magnet pada kumparan, sedangkan kumparan atau kawat dalam keadaan diam. Atau sebaliknya kumparan atau kawat yang bergerak, sedangkan magnet tetap diam(Hulaimi, 2016).

Jika suatu penghantar berbentuk kumparan dialiri listrik DC, maka akan berperilaku seperti magnet batang. Dalam rangkaian tertutup dengan sumber tegangan DC, nilai resistansi dari induktor hanyalah resistansi ohmik(Kautsar, 2010).

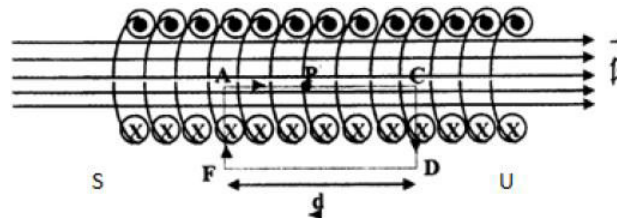


Gambar 2.5 Lilitan bersumber DC

Sumber : Kautsar,(2010)

Jika suatu kumparan dihubungkan dengan sumber arus DC seperti pada Gambar 2.5, maka dalam rangkaian tertutup kumparan tersebut dapat berperilaku seperti magnet batang yang sifatnya adalah sementara, hanya jika ada arus yang lewat pada kumparan.

Berdasarkan hukum Biot Savart, “ jika kawat lurus panjang dialiri arus listrik maka akan timbul induksi magnet di sekitar kawat tersebut.” Jika kawat lurus tersebut dibuat kumparan (Solenoid) maka arah medan magnetnya terdapat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Arah medan magnet pada kumparan

Sumber : Kautsar,(2010)

Pada Gambar 2.6 kumparan di atas arus dari atas keluar bidang menuju ke bawah masuk bidang. Sesuai dengan kaidah tangan kanan maka arah medan magnet mengumpul menjadi satu menuju ke arah kanan. Hal inilah yang menyebabkan kumparan bila dialiri arus DC seperti magnet batang.

Pada magnet batang arah medan magnet di luar batang dari kutub utara ke selatan, kalau di dalam batang dari selatan ke utara. Dari Gambar 2.6 arah medan magnet di dalam kumparan, sehingga kutub utara kumparan sebelah kanan dan kutub selatan sebelah kiri. Atau metode yang lain menentukan kutub-kutub magnet kumparan, diuji dengan mendekatkan magnet batang yang telah diketahui kutub-kutubnya. Dengan prinsip untuk kutub sejenis tolak-menolak, kutub tak sejenis tarik-menarik.

Arah garis gaya yang magnet yang dibangkitkan oleh kumparan yang dialiri listrik DC, tergantung arah aliran arus DC yang mengalir. Sebagai contoh pada Gambar 2.6 tersebut, tetap menggunakan kaidah tangan kanan yaitu ibu jari arah arus, empat jari yang lain arah medan magnet. Maka pada Gambar 2.6 arah medannya terpusat di dalam kumparan ke arah kanan. Jika di luar kumparan pada Gambar 2.6 dari kanan ke kiri. Sama halnya dengan arah garis gaya magnet pada magnet batang, di luar magnet batang dari kutub utara ke selatan, di dalam magnet batang dari selatan ke utara arah garis gaya magnetnya. Jika ditinjau untuk mencari besar medan magnet dapat menggunakan persamaan (2.1) dan persamaan (2.2)(Kautsar, 2010):

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot i \quad (2.1)$$

Medan magnet di ujung kumparan:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot i}{2} \quad (2.2)$$

- a. Jumlah lilitan (n).
- b. Besar kuat arus yang mengalir (i).

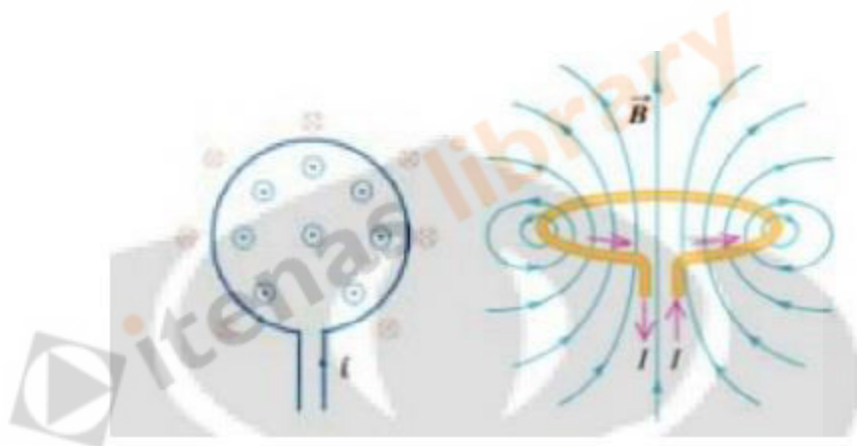
Dari kedua rumusan di atas tampak bahwa faktor yang mempengaruhi besarnya kuat medan magnet yang dibangkitkan oleh kumparan yang dialiri listrik DC. Maka sesuai dengan persamaan (2.3) didapat faktor yang mempengaruhi hambatan ohmik(Kautsar, 2010):

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.3)$$

- Hambatan jenis kawat yang digunakan sebagai kumparan (Ω).
- Panjang kawat (l) yang ada hubungannya dengan jumlah lilitan (n).
- Luas penampang kawat yang digunakan sebagai kumparan (A).

Jika suatu penghantar berbentuk kumparan dialiri listrik AC maka yang berpengaruh pada rangkaian tersebut tidak hanya hambatan ohmik tetapi juga hambatan yang muncul dari kumparan (reaktansi induktif). Nilai reaktansi induktif bergantung pada besarnya induksi diri kumparan. Reaktansi induktor/kumparan, banyak difungsikan pada rangkaian-rangkaian elektronik.

Medan magnet juga dihasilkan di sekitar dan pusat dari kawat melingkar yang dialiri arus listrik, seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Medan magnet pada kawat melingkar

Sumber : Kautsar,(2010)

Besar medan magnet pada pusat kawat yang melingkar berarus yang mempunyai jari – jari r , dengan arus I , diberikan oleh persamaan (2.4) dan persamaan (2.5)(**Kautsar, 2010**).

$$B = \frac{\mu i}{2r} \quad (2.4)$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i}{2r} \quad (2.5)$$

Dimana :

B = rapat medan magnet (Tesla)

μ = permeabilitas bahan ($T. m/A$ atau $Wb/A. m$)

μ_r = permeabilitas relative

μ_0 = permeabilitas udara ($T. m/A$ atau $Wb/A. m$)

I = arus yang mengalir pada kawat (A)

r = jarak dari kawat (m)

Jika kawat melingkar berarus mempunyai N lilitan, maka besar medan magnet meningkat N kali sehingga besar medan magnet pada pusat lingkaran dengan N lilitan diberikan oleh persamaan (2.6)(Kautsar, 2010).

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r I}{2r} \times N \quad (2.6)$$

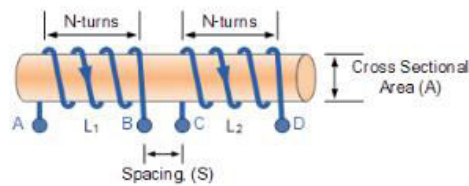
Dimana :

N = banyaknya lilitan pada kawat melingkar

Jika kumparan dialiri listrik AC tidak bersifat sebagai magnet batang, karena arus listrik AC bersifat bolak-balik, setengah siklus pertama positif, setengah siklus berikutnya negatif, begitu seterusnya. Hal ini dapat mempengaruhi arah medan magnet yang ditimbulkan oleh kumparan berubah-ubah sangat cepat yang dapat mengakibatkan hambatan dalam kumparan (reaktansi induktif) disamping itu juga muncul hambatan ohmik(Kautsar, 2010).

2.3.2. Induktansi Bersama dan Kopling Magnetik

Induktansi bersama (M) adalah interaksi antara medan magnet pemancar dengan penerima disebut induktansi timbal balik dimana medan magnet tersebut menginduksi kumparan lain yang berdekatan dengannya. Jumlah dari induktansi bersama yang menghubungkan kumparan satu dengan kumparan lainnya tergantung pada posisi dan jarak antara kedua kumparan tersebut. Saat jarak antara kedua kumparan sangat dekat dan di posisi yang identik maka hampir semua medan magnet akan menginduksi kumparan lainnya dan menghasilkan ggl yang relatif besar dan dengan kondisi seperti itu maka akan dihasilkan nilai induktansi bersama yang besar. Salah satu kondisi terjadinya induktansi bersama ditunjukkan pada Gambar 2.8(Zambari, 2013).



Gambar 2.8 Induktansi bersama antara 2 kumparan

Sumber : Abdulelektro

Secara umum induktansi dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut(Zambari, 2013):

$$M = \frac{\mu_0 \mu_r N_1 N_2 A}{s} \quad (2.7)$$

Dimana:

μ_0 : permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$)

μ_r : permeabilitas bahan

N_1 : jumlah lilitan kumparan 1

N_2 : jumlah lilitan kumparan 2

A : luas permukaan kumparan (m^2)

S : jarak antar kedua lilitan (m)

Saat induktansi bersama terjadi, fluks yang menghubungkan kumparan satu (L_1) ketika arus mengalir di sekitar kumparan dua (L_2) persis sama dengan kumparan dua ketika arus yang sama mengalir di sekitar kumparan satu di atas, maka induktansi bersama dari kumparan satu terhadap kumparan dua dapat didefinisikan sebagai M_{21} . Induktansi bersama ini benar terlepas dari ukuran, jumlah lilitan, posisi atau orientasi kedua kumparan. Karena itu dapat ditulis bahwa induktansi bersama antara dua kumparan sebagai $M_{12} = M_{21} = M$. Untuk mendapatkan nilai induktansi nya dapat menggunakan persamaan (2.8) dan persamaan (2.9)(Zambari, 2013).

$$L_1 = \frac{\mu_0 \mu_r N_1^2 A}{s} \quad (2.8)$$

$$L_2 = \frac{\mu_0 \mu_r N_2^2 A}{s} \quad (2.9)$$

Dengan menurunkan persamaan di atas maka didapat persamaan induktansi bersama yang diberikan oleh persamaan (2.10)(Zambari, 2013).

$$M = \sqrt{L_1 L_2} (H) \quad (2.10)$$

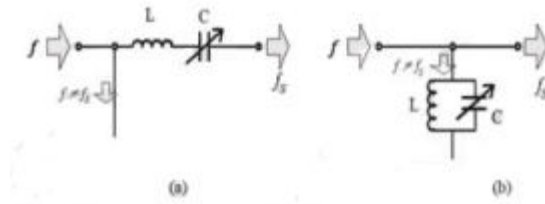
Bagaimanapun, persamaan di atas digunakan untuk kebocoran fluks sama dengan nol atau dengan kata lain kopling magnetik sama dengan 100% terjadi antara kumparan 1 dan kumparan 2. Pada kenyataannya selalu terjadi kebocoran fluks karena posisi yang kurang identik.

Jika kumparan penerima berada pada jarak ke kumparan pemancar, hanya ada sebagian kecil dari fluks, yang dibangkitkan oleh kumparan pemancar, menembus kumparan penerima dan berkontribusi pada transmisi energi. Semakin banyak fluks yang mencapai koil penerima, semakin baik koil tersebut digabungkan. Faktor kopling ditentukan oleh jarak antara kedua kumparan. Ini terkait dengan induktansi timbal balik. Faktor Kopling dan disimbolkan sebagai K. Secara umum nilai K didefinisikan antara 0 sampai dengan 1. Untuk nilai K=1 maka kopling terjadi dengan sangat baik, untuk $K > 0,5$ maka dapat dikatakan kopling kuat, dan untuk $K < 0,5$ maka kopling kurang kuat atau buruk (Zambari, 2013).

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2.11)$$

2.3.3. Resonansi

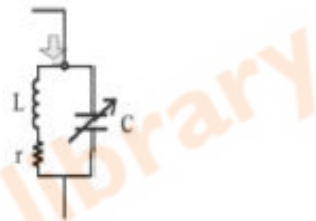
Resonansi adalah suatu fenomena dimana apabila suatu obyek bergetar dengan suatu frekuensi tertentu, dapat mempengaruhi obyek lain dengan jarak tertentu yang memiliki frekuensi yang sama atau hampir sama sehingga obyek lain tersebut akan ikut bergetar dengan frekuensi yang sama (Vianto, 2010). Menurut Jack E. Kemmerly nama lain rangkaian resonansi adalah rangkaian penala (*Tunning Circuit*), yaitu satu rangkaian yang berfungsi untuk menala sinyal dengan frekuensi tertentu dari satu band frekuensi (Jack, 1998). Rangkaian penala pada dasarnya disusun dari sebuah kapasitor dan sebuah induktor, yang dapat tersambung seri maupun paralel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Tetapi pada umumnya rangkaian penala yang digunakan berbentuk paralel. Dalam keadaan resonansi, impedansi ataupun admitansinya mempunyai bagian imajiner sama dengan nol.



Gambar 2.9 (a) resonansi seri, (b) resonansi parallel

Sumber : Jack,(1998)

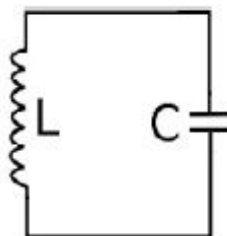
Karena selalu satu induktor mempunyai komponen resistif yang disebabkan oleh bahan logamnya (semisal tembaga), maka induktor tersebut mempunyai rangkaian ekivalen seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Resonansi parallel kompensasi resistif

Sumber : Jack,(1998)

Dalam pembahasan disini akan diuraikan adalah rangkaian resonansi bentuk paralelnya. Tetapi akan terbukti nanti, bahwa besar frekuensi resonansinya akan sama dengan frekuensi resonansi bentuk serinya. Sehingga bila rangkaian resonansi memiliki bentuk yang seri yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Resonansi tanpa kompensasi resistif

Sumber : Jack,(1998)

Maka untuk menganalisis frekuensi yang dapat dihasilkan dari suatu rangkaian LC, kita dapat dianalogikan bahwa nilai reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif seperti yang diperlihatkan persamaan (2.12)(**Jack, 1998**):

$$X_L = X_C \quad (2.12)$$

$$2\pi fT = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.13)$$

$$2\pi f^2L = \frac{1}{2\pi C} \quad (2.14)$$

$$f^2 = \frac{1}{2\pi 2\pi LC} \quad (2.15)$$

$$f = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2\pi 2\pi LC}} \quad (2.16)$$

Persamaan di sederhanakan menjadi :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.17)$$

Dengan:

XL = reaktansi induktif

f = frekuensi resonansi

L = induktansi

C = kapasitansi

A. Resonansi Seri

Dari persamaan (2.18) impedansi dari rangkaian seri RLC didapatkan agar dapat memperlihatkan kondisi resonansi, sebagai berikut :

$$Z_{RLC \text{ seri}} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = (R + j\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (2.18)$$

Reaktansi dari impedansi ini mengandung bagian induktif ($X_L = j\omega L$) maupun kapasitif ($X_C = 1/j\omega C$), yang keduanya merupakan fungsi dari frekuensi. Bagian induktif berbanding lurus dengan frekuensi sementara bagian kapasitifnya berbanding terbalik. Pada suatu nilai frekuensi tertentu, nilai reaktansi total menjadi nol seperti yang diperlihatkan persamaan (2.19), yaitu pada saat:

$$\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = 0 \text{ atau } \omega = \omega_0 \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.19)$$

Pada saat itu dikatakan bahwa rangkaian beresonansi, dan ω_0 disebut frekuensi resonansi. Pada waktu terjadi resonansi, jelas bahwa impedansi rangkaian ini hanyalah R ; reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif sehingga saling meniadakan. Dalam keadaan beresonansi, arus yang mengalir dalam rangkaian hanya ditentukan oleh R ; jika tegangan sumber adalah V_s maka $I = V_s/R$.

Beberapa parameter digunakan untuk menyatakan resonansi secara lebih detail. Salah satunya adalah faktor kualitas yaitu Q seperti yang diperlihatkan persamaan (2.20), yang didefinisikan sebagai perbandingan antara reaktansi induktif pada saat resonansi dengan resistansinya. Karena pada saat resonansi $|X_L| = |X_C|$, maka :

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} \quad (2.20)$$

Jelaslah bahwa, walaupun definisi Q menyebut “ pada saat resonansi”, Q semata-mata tergantung dari parameter rangkaian. Faktor kualitas berbanding terbalik dengan rasio redaman $Q = 1/2\zeta$.

Parameter lain adalah lebar pita resonansi yang didefinisikan sebagai selang frekuensi dimana impedansi tidak berbeda jauh dari nilai impedansi pada saat resonansi. Selang ini biasanya diambil selang frekuensi yang memberikan nilai $Z = R - jR$ dan $Z = R + jR$. Jika batas frekuensi rendah dan tingginya adalah ω_1 dan ω_2 , maka

$$\left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right) = -R \text{ dan } \left(\omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C}\right) = R \text{ atau } \omega_1^2 LC + \omega_1 RC - 1 = 0 \text{ dan } \omega_2^2 LC + \omega_2 RC - 1 = 0$$

Karena $LC = 1/\omega_0^2$ dan $R = 1/\omega_0 Q$, maka persamaan di atas menjadi

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 + \frac{1}{Q} \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right) - 1 = 0 \text{ dan } \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 - \frac{1}{Q} \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right) - 1 = 0$$

Masing-masing persamaan pada (2.19) mempunyai dua akar. Namun hanya akar yang mempunyai arti fisis yang kita pakai, yaitu yang bernilai positif. Dengan pengertian itu maka

$$\omega_1 = \omega_0 \left(-\frac{1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right) \text{ dan } \omega_2 = \omega_0 \left(\frac{1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right)$$

Lebar pita resonansi adalah $BW_{res} = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}$
 ω_1 dan ω_2 disebut frekuensi *cut-off* untuk resonansi.

B. Resonansi Pararel

Untuk mencari admitansi rangkaian parallel RLC dapat menggunakan persamaan (2.21) sebagai berikut:

$$Y_{RLC \text{ paralel}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad (2.21)$$

Bagian riil dari admitansi disebut *konduktansi* dan bagian imajinerinya kita sebut *suseptansi*. Suseptansi dari rangkaian parallel RLC, merupakan fungsi dari frekuensi. Seperti halnya reaktansi pada rangkaian seri RLC, ada satu nilai frekuensi yang membuat suseptansi pada persamaan (2.22) menjadi nol, yang kita sebut frekuensi resonansi, ω_0 .

$$\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = 0 \rightarrow \omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.22)$$

Jadi frekuensi resonansi rangkaian parallel RLC sama dengan rangkaian serinya. Sesungguhnya admitansi rangkaian parallel dapat kita peroleh dari impedansi rangkaian seri dengan penggantian :

$$R \leftrightarrow G ; L \leftrightarrow C ; C \leftrightarrow L.$$

Sedangkan untuk menentukan nilai faktor kualitas ada sedikit perbedaan dengan seri, seperti yang ditunjukkan persamaan (2.23) sebagai berikut:

$$Q = \frac{\omega_0 C}{G} = \frac{1}{\omega_0 GL} = \frac{1}{\sqrt{L/C}} \quad (2.23)$$

Frekuensi cutoff :

$$\omega_1 = \omega_0 \left(-\frac{1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right) \text{ dan } \omega_2 = \omega_0 \left(\frac{1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right)$$

$$\text{Lebar pita resonansi : } BW_{res} = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}$$

$$\text{Frekuensi Tengah : } \omega_0 = \sqrt{\omega_1 - \omega_2}$$

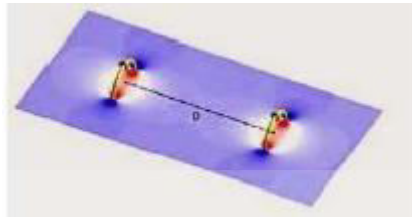
Jika arus total dinyatakan dalam fasor I_s maka pada saat resonansi masing-masing adalah

$$I_L = -jQI_s \qquad I_C = jQI_s$$

(Budiono, 1997).

C. Resonansi Bersama

Resonansi bersama adalah suatu keadaan khusus dari pengiriman energi tanpa kabel. Letak dari kekhususannya adalah semua kumparan yang digunakan untuk beresonansi bersama beroperasi pada kondisi resonansi. Gambar 2.12 menunjukkan contoh resonansi bersama.



Gambar 2.12 Resonansi bersama

Sumber : Hulaimi,(2016)

Resonansi terjadi ketika frekuensi resonansi sendiri dari kumparan-kumparan tersebut bernilai sama dengan frekuensi sumber arus bolak-balik, saat rangkaian ekuivalen dari kumparan-kumparan tersebut di frekuensi tinggi memiliki impedansi paling kecil. Pada saat kondisi seperti inilah energi paling banyak dapat dikirimkan melalui jalur resonansi. Gambar 2.12 menunjukkan terjadinya proses resonansi magnetik bersama, warna kuning menunjukkan kumparan yang memiliki frekuensi resonansi yang sama, warna biru dan merah menunjukkan medan magnet yang disebabkan pada kumparan tersebut, yang keduanya adalah identik satu sama lain, inilah gambaran sederhana dari resonansi bersama (Hulaimi, 2016).

2.4. Matching Impedance

Penyepadanan (*matching*) impedansi adalah teknik yang digunakan dalam sistem transfer daya dan sistem komunikasi untuk meningkatkan efisiensi sistem. Biasanya mencakup jaringan penyepadanan berupa rangkaian LC untuk meminimalkan rasio reflect daya ke sumber daya sistem (Gupta dkk., 2012).

Tujuan dari *matching impedance* ialah untuk memaksimalkan daya kirim dari sumber ke beban, meminimalisasi rugi-rugi saat transfer daya, dan meminimalisasi distorsi signal yang terjadi di saluran transmisi. *Matching impedance* ini dapat diaplikasikan pada rangkaian dengan sumber AC. Pada perancangan pembangkit tegangan tinggi menggunakan sumber tegangan AC harus dilakukan penyepadanan nilai impedansi pada rangkaian LC dalam kumparan Tesla. Hal ini bertujuan untuk menyamakan nilai impedansi pada masing-masing komponen kapasitor dan induktor yang terhubung secara seri. Untuk menentukan nilai impedansi digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z &= Z_c + Z_L \\
 &= \frac{1}{jC\omega} + jL\omega \\
 &= j \frac{\omega^2 LC - 1}{\omega C}
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$



Gambar 2.13 *matching impedance*

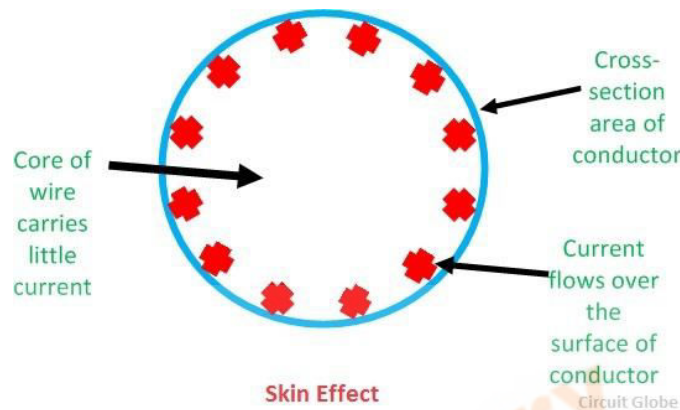
Sumber : Gupta,(2012)

Daya yang di transfer ke beban mencapai maksimum ketika, $Z_{sumber} = Z^*_{beban}$ seperti pada persamaan (2.24), Gambar 2.13 memperlihatkan rangkaian *matching impedance*. Oleh karena itu, rangkaian seperti dianggap sepadan dan efisiensi maksimum dicapai ketika impedansi beban (Z_{load}) dari arah pandang sumber sepadan dengan impedansi sumber (Z_{source}) dan sebaliknya(Gupta dkk., 2012).

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 Z = \frac{V^2}{Z_{source}} \left[\frac{1}{\frac{Z_{source}}{Z_{load}} + 2 + \frac{Z_{load}}{Z_{source}}} \right] \\
 P_{max} &= \frac{V^2}{4Z_{source}}
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

2.5. Skin Effect

Skin Effect adalah kecenderungan arus frekuensi tinggi untuk berkonsentrasi di dekat tepi luar, atau permukaan, dari konduktor, alih-alih mengalir secara seragam di seluruh area penampang konduktor seperti yang diperlihatkan Gambar 2.14. Semakin tinggi frekuensi, semakin besar kecenderungan efek ini terjadi. Ada tiga kemungkinan alasan kita mungkin peduli dengan efek kulit.



Gambar 2.14 Fenomena *skin effect*

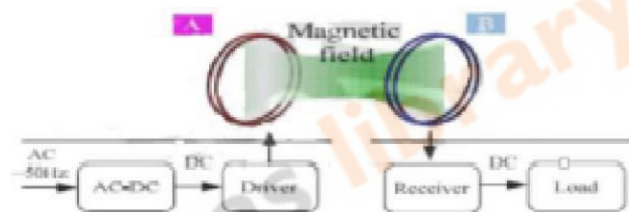
Sumber : Brooks,(2009)

Resistensi konduktor berbanding terbalik dengan area penampang konduktor. Jika luas penampang berkurang, resistensi naik. Efek kulit menyebabkan luas penampang yang efektif berkurang. Oleh karena itu, efek kulit menyebabkan resistensi konduktor meningkat secara efektif.

Proses ini berlanjut selama waktu yang berurutan sampai peningkatan penuh arus mengalir di sepanjang kawat. Ini adalah sifat induktansi dan menggambarkan efek induktansi pada aliran arus. Misalkan proses yang dijelaskan di atas terputus. Katakanlah bahwa pada pertengahan proses, arus asli tiba-tiba berubah arah. Sekarang proses dimulai dari awal lagi, tetapi kali ini berlawanan arah. Setiap kali arus asli berubah arah, proses dimulai kembali ke arah sebaliknya. Frekuensi arus asli berubah arah setiap detik adalah frekuensi arus. Jika frekuensinya cukup tinggi, arus penuh tidak pernah mengalir melintasi seluruh penampang kabel (Brooks, 2009).

2.6. Transmitter

Transmitter adalah alat yang digunakan untuk mengubah perubahan sensing element dari sebuah sensor menjadi sinyal yang mampu diterjemahkan oleh controller. Sinyal untuk mentransmisikan ini ada dua macam yaitu pneumatik dan elektrik. Sistem transmisi pneumatik adalah transmisi menggunakan udara bertekanan untuk mengirimkan sinyal. Sistem ini adalah sistem lama sebelum kemunculan era elektrik. Sistem transmisi elektronik adalah transmisi menggunakan sinyal elektrik untuk mengirimkan sinyal. Range yang digunakan untuk transmisi ini adalah 4-20 mA dan 1-5 VDC, Gambar 2.15 memperlihatkan bagaimana rangkaian wireless power transfer yang terdiri dari transmitter sebagai pengirim sinyal(Tegar, 2014).

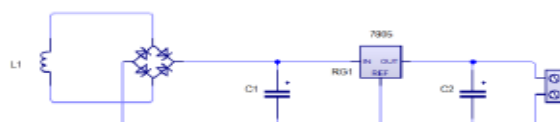


Gambar 2.15 Diagram *Wireles Power Transfer*

Sumber : Tegar,(2014)

2.7. Receiver

Receiver berfungsi mengubah kembali sinyal-sinyal electromagnet yang diterimanya menjadi bentuk informasi aslinya, seperti pengeras suara pada telepon (Hulaimi, 2016). Dalam tugas akhir ini receiver berfungsi mengubah gelombang AC yang dihasilkan inverter dan dikirim oleh transmitter menjadi gelombang DC atau searah yang kemudian diteruskan menuju beban seperti yang ditunjukkan Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Rangkaian *Receiver*

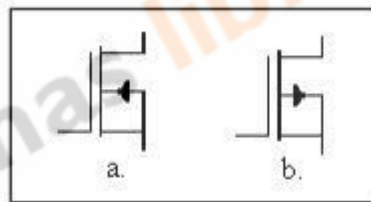
Sumber : Tegar,(2014)

2.8. MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semikonduktor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (substrat) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah (Maulana, 2007).

Bila dilihat dari cara kerjanya, pada Gambar 2.17. dan Gambar 2.18. MOSFET dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*)



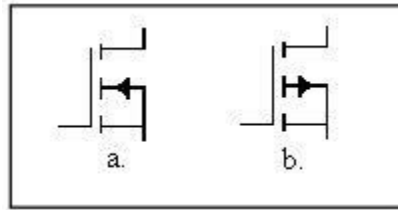
Gambar 2. 17. Simbol Transistor MOSFET Mode *Depletion* (a). *N-Channel Depletion* (b). *P-Channel Depletion*

Sumber : Darmawansyah,(2009)

Dari Gambar 2.17 antara *drain* dan *source* terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran tersebut mempunyai fungsi sebagai saluran tempat mengalirnya elektron bebas. (Darmawansyah, 2009).

2. Transistor Mode peningkatan (*Transistor Mode Enhancement*)

Transistor mode *enhancement* ini pada fisiknya tidak memiliki saluran antara *drain* dan *source* nya karena lapisan *bulk* meluas dengan lapisan SiO₂ pada terminal *gate*. Transistor MOSFET mode peningkatan terdiri dari tipe-N dan tipe-P (Darmawansyah, 2009).

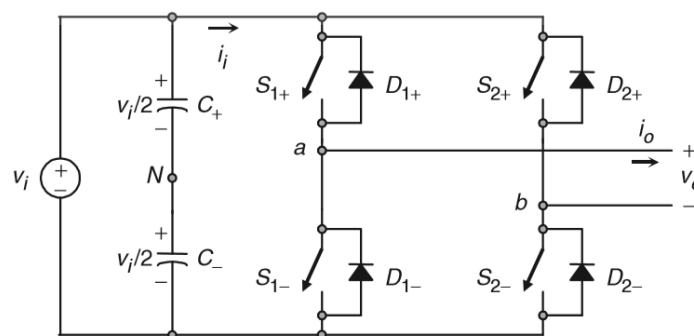


Gambar 2. 18. Simbol Transistor MOSFET *Mode Enhancement* (a). *N-Channel Enhancement* (b). *P-Channel Enhancement*

Sumber : Darmawansyah,(2009)

2.9. Rangkaian H Bridge atau inverter

Pada perancangan alat ini *inverter* merupakan alat yang digunakan untuk merubah tegangan DC dari panel surya menjadi AC untuk digunakan di beban dimana *inverter* ini sudah terdapat di dalam *charger controller*. *Inverter* sendiri adalah rangkaian daya elektronika yang berfungsi untuk mengkonversi (mengubah) tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak balik (AC). Jadi inverter merupakan kebalikan dari rangkaian *converter* yang berfungsi untuk mengubah tegangan bolak balik ke tegangan searah. Rangkaian *inverter* ada beberapa macam, ada rangkaian *inverter* yang bisa menghasilkan tegangan sinus murni tanpa adanya harmonisasi sampai *inverter* yang bisa menghasilkan tegangan bolak-balik saja. Rangkaian *inverter* juga bisa dibedakan berdasarkan fasanya. Ada satu fasa, tiga fasa dan multi fasa, Gambar 2.19 menunjukkan bentuk rangkaian inverter ketika MOSFET sudah bekerja dalam kondisi saklar(Rashid, 2011).



Gambar 2.19 rangkaian inverter 1 fasa gelombang penuh

Sumber : Rashid,(2011)

Tabel 2.1 memperlihatkan bagaimana rangkaian inverter tersebut dapat bekerja dari mulai kondisi mosfet on dan off, hingga bagaimana tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian tersebut.

Tabel 2.1 Keadaan *switch* pada inverter 1 fasa gelombang penuh

Sumber : Rashid,(2011)

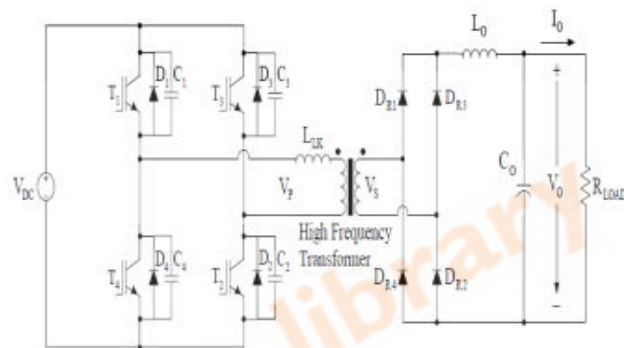
<i>State</i>	<i>State#</i>	V_{aN}	V_{bn}	V_o	<i>Component conducting</i>
<i>S1+ and S2- are on and S1- and S2+ are off</i>	1	$v_i/2$	$-v_i/2$	v_i	<i>S1+ and S2- if $i_o > 0$ D1+ and D2- if $i_o < 0$</i>
<i>S1- and S2+ are on and S1+ and S2- are off</i>	2	$-v_i/2$	$v_i/2$	$-v_i$	<i>D1- and D2+ if $i_o > 0$ S1- and S2+ if $i_o < 0$</i>
<i>S1+ and S2+ are on and S1- and S2- are off</i>	3	$v_i/2$	$v_i/2$	0	<i>S1+ and D2+ if $i_o > 0$ D1+ and S2+ if $i_o < 0$</i>
<i>S1- and S2- are on and S1+ and S2+ are off</i>	4	$-v_i/2$	$-v_i/2$	0	<i>D1- and S2- if $i_o > 0$ S1- and D2- if $i_o < 0$</i>
<i>S1-, S2-, S1+, and S2+ are all off</i>	5	$-v_i/2$ $v_i/2$	$v_i/2$ $-v_i/2$	v_i $-v_i$	<i>D1- and D2+ if $i_o > 0$ D1+ and D2- if $i_o < 0$</i>

2.10. DC-DC converter

Konverter jembatan penuh, Konverter ini sebagian besar digunakan dalam aplikasi daya sedang hingga tinggi. Tegangan keluaran dapat dikontrol dengan dua metode: kontrol PWM dan kontrol pergeseran fasa. Konfigurasi jembatan penuh yang digunakan untuk tegangan input tinggi dan aplikasi daya tinggi adalah konverter dc-dc jembatan penuh fase-bergeser. Konverter dc-dc jembatan penuh fase-bergeser (PSFB) mirip dengan konverter dc-dc jembatan penuh konvensional, tetapi dengan kontrol pergeseran fasa. Dalam konverter dc-dc jembatan penuh fase-bergeser, sakelar mencapai sakelar tegangan nol yang mengurangi kerugian sakelar. Konverter dapat mencapai efisiensi tinggi pada frekuensi switching yang tinggi dan juga memiliki manfaat seperti EMI rendah; kebisingan switching yang rendah tidak memerlukan sirkuit snubber tambahan untuk mengurangi kerugian. Konverter PSFB digunakan untuk mengundurkan

tegangan dc tinggi dan untuk menyediakan isolasi dalam aplikasi daya sedang hingga tinggi seperti sistem energi terbarukan, penyearah telekomunikasi, sistem pengisian baterai, catu daya dan lain-lain.

Konverter dc-dc jembatan penuh fase-bergeser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20. Konverter ini digunakan dalam aplikasi daya sedang hingga tinggi. Konverter PSFB terdiri dari inverter jembatan penuh, transformator frekuensi tinggi, penyearah dioda jembatan penuh, dan filter low pass pada output. Sinyal-sinyal gating diberikan kepada sakelar dengan cara pemindahan fase untuk memfasilitasi operasi ZVS untuk sakelar(Arya, 2015).



Gambar 2.20 rangkaian dc-dc konverter

Sumber : Arya,(2015)