Teknik Switching untuk Konversi Energi Listrik DC Efesiensi Tinggi

Sri Paryanto Mursid

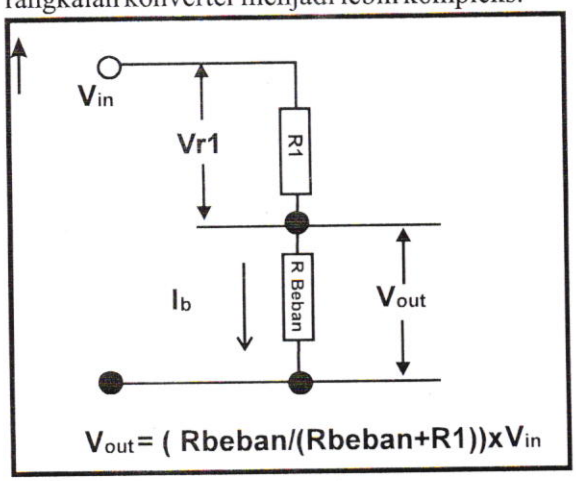
Staf Pengajar Jurusan Teknik Konversi Energi
Politeknik Negeri Bandung
e-mail: sp_mursid@yahoo.co.id

Abstraks

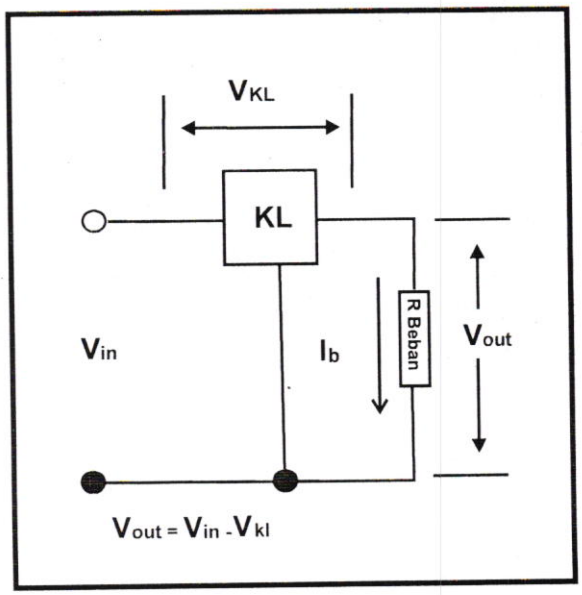
Konversi energi listrik DC dengan menggunakan konverter linier memiliki kelemahan utama yakni hanya dapat mengkonversikan dari tegangan tinggi ke tegangan lebih rendah dengan disipasi daya relatif tinggi. Sampai saat ini beragam perangkat pengkonsumsi energi listik, khususnya perangkat elektronik, masih banyak menggunakan konverter linier. Kelemahan pada konverter linier dapat diatasi dengan menggunakan teknik konverter switching. Kelebihan utama dari konverter switching adalah kemampuanya untuk melakukan konversi tegangan DC dua arah yakni menaikkan tegangan dan juga menurunkan tegangan. Kelebihan penting lainnya adalah efesiensi konversi energi yang sangat tinggi. Dalam diskusi akan diberikan perbandingan peluang rugi-rugi pada konversi linier, konsep dasar konverter switching dan contoh merencanakan konversi energi listrik DC menggunakan konverter switching.

PENDAHULUAN

Piranti elektronik umumnya mengkonsumsi energi listrik dalam tegangan listrik DC. Jika yang diperlukan adalah mengkonversikan dengan tegangan input lebih tinggi ke tegangan output lebih rendah, dapat dilakukan secara sederhana menggunakan pembagi tegangan resistif (Gb. 1) atau dengan menggunakan konverter linier (Gb. 2). Namun jika diperlukan tegangan output lebih tinggi dari tegangan input rangkaian konverter menjadi lebih kompleks.



Gambar 1. Pembagi Tegangan



Gambar 2. Konverter Linier

Rugi-rugi daya pada pembagi tegangan dan Konverter linier berbanding lurus dengan arus yang ditarik beban.

Pada Pembagi tegangan Gambar 1, rugi-rugi daya (P_{rugi}) terjadi pada resistor pembagi tegangan R1 sebanding dengan arus beban I_b yang besarnya adalah Prugi = I_b^2 x R_1, atau P_{rugi} = I_b x V_{r1}.

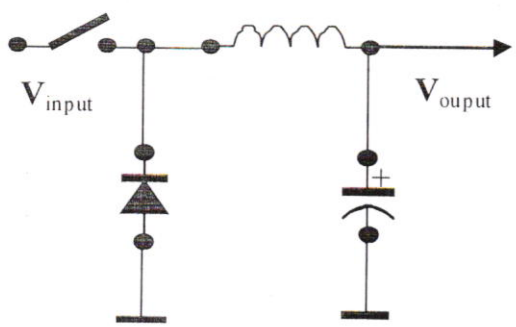
Pada rangkaian konverter linier Gambar 2, daya yang hilang sebagai rugi-rugi panas $P_{rugi} = I_b \times V_{kl}$. Kedua model pembagi tegangan dan konverter tegangan memperlihatkan rugi-rugi daya yang terus meningkat sesuai dengan meningkatnya arus beban. Rugi-rugi daya juga semakin besar jika selisih antara tegangan input dengan tegangan output meningkat. Rugi-rugi daya listrik ini merupakan pemborosan energi yang harus dihindari karena energi listrik semakin hari semakin terbatas sumbernya dan mahal harganya.

Teknik konverter swiching menggunakan pendekatan berbeda. Energi listrik pada input di transfer ke output dengan cara mengalirkannya secara diskrit sesuai dengan kebutuhan daya dari beban. Aliran daya listrik diskrit dimungkinkan dengan peralatan sakelar (*switch*) berkecepatan tinggi dengan pengaturan siklus kerja (*duty cycle*) yang terkendali sesuai dengan kebutuhan daya dan tegangan pada outputnya.

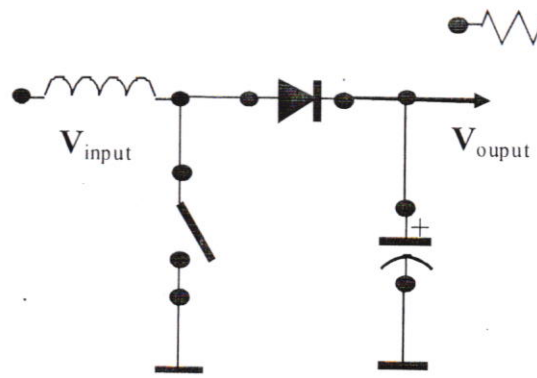
Energi listrik pada regulator switching disimpan terlebih dahulu pada induktor pada saat sakelar pada kondisi tertutup (*ON*) dan dapat di alirkan kembali pada saat sakelar terbuka (*OFF*). Karena fasa tegangan pada induktor mendahului 90° terhadap arus, maka rugi-rugi daya pada proses switching menjadi sangat rendah. Hal ini yang membedakan dengan regulator linier yang mendisipasikan daya pada resistor yang berperilaku linier antara fasa tegangan dan arusnya.

METODA SWITCHING

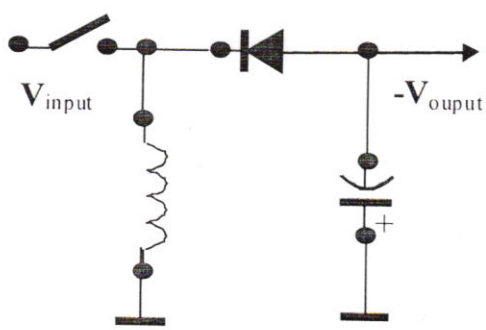
Konverter switching menggunakan sakelar daya (*power switch*), induktor dan dioda untuk mengalirkan daya listrik dari input ke output. Dengan konfigurasi yang tepat, ketiga komponen dasar tersebut dapat disusun menjadi konverter topologi *Buck* Gambar 3a, topologi *Boost* Gambar 3b, topologi Inverting Gambar 3c, dan topologi *Transformer Flyback* diperlihatkan Gambar 3d.



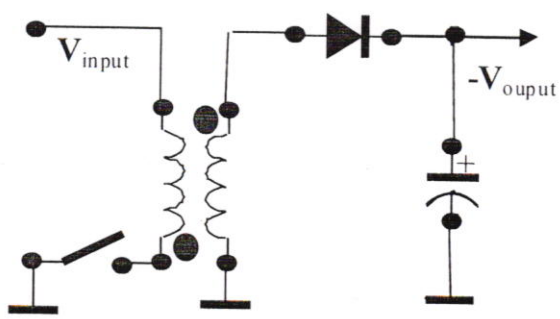
Gambar 3a. Buck



Gambar 3b. Boost



Gambar 3c. Inverting

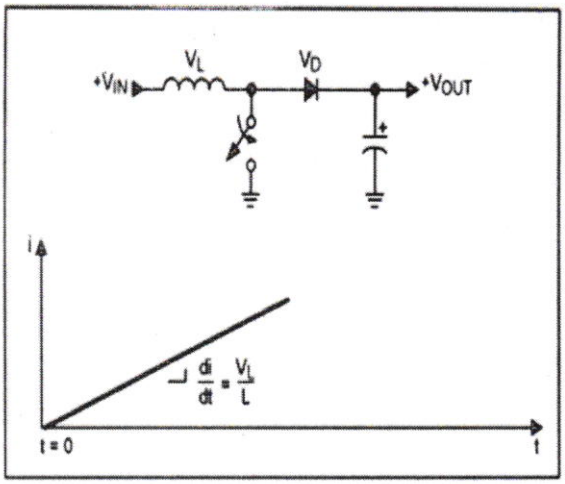


Gambar 3d. Flyback

Topologi *Buck* pada konverter switching dipergunakan jika diperlukan tegangan output yang lebih rendah dari tegangan input ($V_{output} < V_{input}$) . Sebaliknya dipergunakan topologi *Boost* jika diharapkan tegangan outputnya lebih tinggi dari tengangan input ($V_{output} > V_{input}$). Topologi

Inverting akan membalikkan polaritas output terhadap input. Sedangkan topologi *transformer flyback* dimaksudkan agar output terisolasi secara galvanik terhadap input.

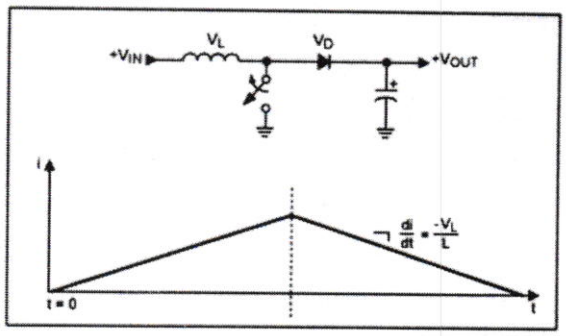
Perilaku konversi daya pada konverter switching dapat diwakili dengan meninjau topologi konverter boost. Gambar 4 memperlihatkan peningkatan arus pada induktor saat sakelar ditutup, atau disebut fase pengisian (*charging*).



Gambar 4. Boost pada Fasa Pengisian (*Charging*)

Proses pengisian dimulai dengan asumsi bahwa saklar dalam kondisi terbuka cukup lama, sehingga tegangan pada V_L menjadi 0 volt sedangkan kapasitor telah terisi penuh, mengakibatkan tegangan pada V_C akan sama dengan V_{IN}. Karenanya arus pada L (induktor) akan 0 ampere dengan asumsi V_D 0 volt karena dioda ideal. Jika kemudian sakelar ditutup dengan tiba-tiba, maka V_L akan dikenai tegangan Vin karena salah satu ujung induktor langsung tersambung ke tanah (*ground*). Dioda akan memproteksi kapasitor sehingga tidak akan terjadi proses *discharge* karena dioda akan menghambat arus balik (*reverse*) dari kapasitor ke ground. Arus pada induktor akan meningkat secara linier dengan slope ditentukan oleh induktansi L mengikuti persamaan $di/dt = V_L/L$.

Proses kebalikan terjadi saat sakelar dibuka, sehingga terjadi fasa *discharge* atau pelepasan muatan seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Boost pada Fasa Pelepasan (*Discharging*)

Untuk mendapatkan rangkaian regulator tegangan switching dari konfigurasi konverter switching dasar, dapat ditambahkan beberapa komponen pelengkap dan rangkaian pengendali yang ditempatkan secara strategis. Pada pembahasan lebih lanjut akan dipergunakan konfigurasi Boost Converter sebagai contoh perhitungan rancangan.

PERANCANGAN KONVERTER SWITCHING

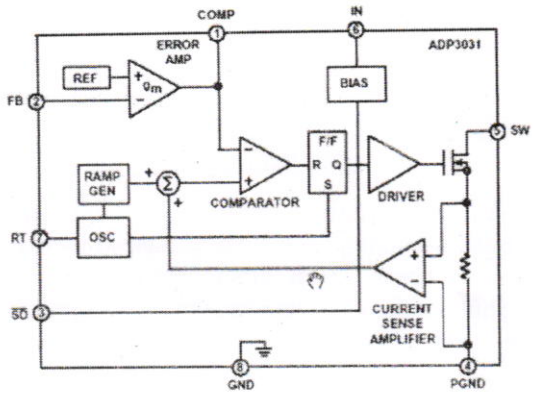
Konfigurasi konverter *boost* dipilih dalam perancangan karena memiliki keunggulan dalam kesederhanaan rancangan. Untuk mendapatkan konverter switching secara lengkap, setidaknya harus dibangun rangkaian pendukung diantaranya, rangkaian pengemudi (*driver*) yang berfungsi untuk menguatkan arus kemudi pada komponen daya switching, sensor arus untuk mengindera perubahan arus *output* untuk selanjutnya dikomparasikan dengan sinyal input untuk melakukan proses regulasi, rangkaian komparator, dan rangkaian pembangkit gelombang segi tiga atau gigi gergaji (*saw tooth*).

Rangkaian pendukung sebagaimana disebutkan di atas dapat dibuat secara terpisah menggunakan komponen diskrit. Namun dengan mempertimbangkan kemudahan dan keandalan rangkaian secara keseluruhan, penggunaan rangkaian terintegrasi (*Integrated circuit*, IC) sebagai rangkaian kontrol akan menyederhanakan seluruh proses perancangan konverter switching.

Saat ini telah banyak pabrik yang memproduksi IC untuk kontrol rangkaian konverter switching. Hal ini sejalan dengan semakin banyaknya

ISSN 2089 - 2527

aplikasi yang membutuhkan pencatu daya menggunakan modus switching. Dari beragam jenis IC yang diproduksi, dipilih IC ADP3031yang diproduksi oleh *Analog Devices*. Diagram blok dari IC ADP3031 diperlihatkan pada Gambar 6.



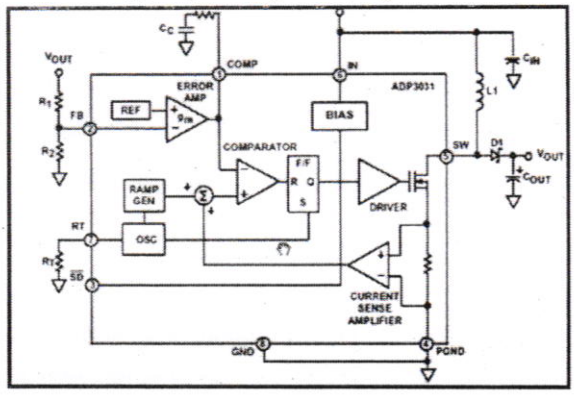
Gambar 6. Diagram Blok IC ADP3031

Ada dua alasan utama mengapa IC ADP3031 dipilih sebagai model dalam membuat konverter switching. Alasan pertama, sebagaimana terlihat dalam diagram blok pada Gambar 6, IC ini memuat hampir seluruh bagian penting dari sistem kontrol yang diperlukan untuk membangun konverter switching, termasuk di dalamnya transistor switchingnya. Yang diperlukan selanjutnya hanya menambahkan induktor L dan kapasitor C pada outputnya. Alasan kedua, IC ADP3031 memilliki frekwensi operasi switching mencapai 2 MHz. Kemampuan menghasilkan gelombang PWM (Pulse Width Modulation) sangat tinggi ini memungkinkan sistem memiliki respons (tanggapan) *transient* yang baik, filter *noise* menjadi lebih mudah, dan paling menguntungkan adalah penggunaan induktor dan kapasitor yang relatif kecil. Seluruh unit konverter switching yang dibangun berbasis pada IC ADP3031 akan dapat dibuat sangat ringkas namun dapat memberikan arus output sampai 1,5 Ampere pada tegangan kerja 12 volt. Daya sebesar ini mampu menangani kebanyakan peralatan elektronik yang ada saat ini dalam penggunaan sehari-hari.

Beberapa komponen tambahan diperlukan untuk melengkapi IC ADP3031 agar berfungsi sebagai konverter Switching yang dapat bekerja sebagai *boost* konverter. Rangkaian pada Gambar 7 memperlihatkan komponen yang ditambahkan pada IC sehingga dapat bekerja secara normal.

R_1 dan R_2 merupakan pasangan resistor yang membentuk konfigurasi voltage devider yang terhubung ke tegangan output (Vout) sehingga akan mengindera setiap perubahannya selanjutnya rangkaian kontrol akan melakukan aksi regulasi. Alasan inilah yang menjadikan rangkaian konverter switching dapat juga disebut sebagai regulator switching. Tegangan kerja output dapat ditentukan dengan perbandingan dari R_1 dan R_2 ini. Persamaan untuk menentukan Vout adalah sebagai berikut :

$$V_{out} = 1{,}233 \times (1 + R_1/R_2)$$



Gambar 7. Aplikasi Tipikal Konverter Switching Boost

Arus dari output ke rangkaian *voltage devider* ini sangat kecil, berkisar 100 nA, sehingga R_2 dapat dipilih sampai mencapai `100 K.

Komponen tambahan lain adalah R_T. Resistor ini terhubung ke osilator internal sehingga pemilihan nilainya akan mempengaruhi frekwensi operasional dari PWM yang dihasilkan. Jika R_T 0 , atau pin R_T terhubung langsung ke tanah (ground), osilator akan bekerja pada frekwensi switching (fsw) 2 MHz. Sebaliknya jika R_T tak berhingga atau Pin R_T dibiarkan terbuka, fsw menjadi 600KHz. Untuk mendapatkan fsw di antara 600kHz dan 2 MHz, digunakan persamaan berikut :

ISSN 2089 - 2527

RT() = 320.000 x (2.000.000 – fsw)/(3,6667 x fsw – 2.000.000)

Pemilihan induktor L dapat dilakukan dengan pendekatan aplikatif diantara 2H sampai 22H. Jika diinginkan harga yang lebih eksak, persamaan berikut dapat dipergunakan :

$L = (V_{out} - V_{in}) \times \mathbf{M}_{slope}$

$\mathbf{M}_{slope}$ adalah faktor skala untuk mendapatkan slope (kemiringan) frekwensi kompensasi yang diinginkan yang besarnya adalah:

$\mathbf{M}_{slope} = 1{,}456/fsw$

Pemilihan induktor L harus memperhitungkan kemampuannya dalam mengalirkan arus output. Jika diinginkan arus output sampai 1,5 Ampere, induktor harus dapat menangani arus minimal 2 ampere. Harga lebih eksaknya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$\mathbf{I}_L$ (PEAK) = $(I_{out} \times V_{out}/V_{in}) + \frac{1}{2} \times \{(V_{in} \times (V_{out} - V_{in})/(L \times V_{out} \times fs)\}$

Selanjutnya pemilihan kapasitor C secara presisi dapat dihitung dengan persamaan,

$\mathbf{C}_{out}\ 8 \times \mathbf{I}_{out}[(\mathbf{V}_{out} - \mathbf{V}_{in})/(fs \times \mathbf{V}_{out} \times \mathbf{V}_{out})]$

Kapasitor juga dapat dipilih berdasarkan pendekatan empiris. Untuk penggunaan yang lumrah (tipikal) dapat dipilih nilai C = 10F. Namun jika rangkaian akan dipekerjakan pada kemampuan arus maksimumnya pemilihan kapasitor dengan nilai lebih tinggi antara 22F sampai 47F dapat dipergunakan.

KESIMPULAN

Aplikasi konverter switching untuk menggantikan konverter linier memberikan peluang dalam penghematan energi listrik, mengingat sistem konverter swiching memiliki efesiensi tinggi dalam mengkonversi energi listrik dari sisi tegangannya. Perancangan dan Pembuatan konverter switching juga menjadi sederhana dengan menggunakan teknologi IC yang saat ini telah banyak diproduksi oleh berbagai industri elektronika. Contoh penggunaan IC ADP3031 memperlihatkan hal tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. Cúuk and R.D. Middlebrook, "A New Optimum Topology Switching DC-to-DC Converter", IEEE Power Electronics Specialist Conference 1977 pp 160-179.
2. S. Cúuk and R.D. Middlebrook, "Coupled Inductor and Other Extensions of a New Optimum Topology Switching Converter", IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting, 1977 pp 1110-1126.
3. S. Cúuk and W.M. Polivka, Analysis of Integrated Magnetics to Eliminate Current Ripple in Switching Converters, Power Conversion International Proceedings, 1983 pp 361-386.