Analisis Riak Keluaran Buck Converter

Asnil^{#1}, Irma Husnaini^{#2}

[#]Teknik Elektro Universitas Negeri Padang

Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat-Indonesia

¹asnil181@gmail.com

²irma_hnni@yahoo.com

Abstrak; Riak pada tegangan keluaran *buck converter* sangat mempengaruhi kinerja dari *buck converter*. Tulisan ini membandingkan simulasi yang dianggap ideal dengan dua metode yakni metode domain frekuensi dan *small-ripple approximation* untuk mendapatkan keakuratan nilai riak tegangan keluaran dari *buck converter*. Hasil analisis terhadap nilai riak tegangan keluaran *buck converter* menggunakan metode domain frekuensi diperoleh sebesar 5,181mV dan metode *small-ripple approximation* 5,319 mV sedangkan hasil simulasi yang dianggap ideal sebesar 5,098 mV. Dari kedua metode yang digunakan, maka hasil analisis domain frekuensi lebih mendekati hasil simulasi yang dianggap ideal.

Keywords; *Buck converter*, riak keluaran, filter LC, domain frekuensi, *small-ripple approximation*

I. PENDAHULUAN

Buck converter dipakai pada banyak aplikasi di industri, seperti baterai, sel surya dan dalam aplikasi *low power* seperti LED, lampu flashers dan pada komputer [2]. Penggunaan filter LC pada sisi keluaran berguna untuk memperhalus riak sehingga bisa mendapatkan bentuk gelombang keluaran dengan amplitudo riak yang kecil [1], [3], [4]. Penggunaan *buck converter* sebagai pengkonversi tegangan searah banyak digunakan karena dilihat dari segi kesederhanaan dan dari segi pembiayaan lebih murah [1], [5].

II. ANALISIS TEORI

Analisis pada rangkaian *buck converter* diasumsikan sebagai hasil yang ideal dengan ketentuan;

1. Simulasi tidak memperhitungkan nilai ESR pada filter kapasitor.
2. Menggunakan komponen switching ideal.

Buck converter dapat dijelaskan menggunakan diagram konseptual seperti gambar 1.(a) yang terdiri dari dua bagian, yaitu saklar *Single-Pole Double-Throw* (SPDT) dan filter ideal jenis *low pass*. Pada satu periode pensaklaran T_s , saklar SPDT pada posisi **a** berfungsi untuk T_{on} dan pada posisi **p** berfungsi untuk T_{off} . Periode T_{on} didefinisikan sebagai periode waktu *on* dan T_{off} didefinisikan sebagai periode waktu *off*. Perbandingan antara T_{on} dan T_s adalah siklus kerja atau *duty cycle* D dari saklar SPDT.

$$D = \frac{T_{on}}{T_s} \quad (1)$$

Saklar SPDT mengubah tegangan sumber V_s menjadi gelombang persegi yang kemudian diteruskan ke filter ideal jenis *low pass*. Berdasarkan konsep *fourier*, maka v_x merupakan jumlah dari komponen dc dan harmonik sinusoida [1].

$$v_x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(n\omega_s t + \theta_n) \quad (2)$$

Dimana c_0 merupakan komponen dc dan $\omega_s = 2\pi/T_s$ merupakan frekuensi fundamental dari v_x . Komponen dc dari c_0 merupakan nilai rata-rata dari v_x .

$$c_0 = \bar{v}_x(t) = \frac{T_{on}}{T_s} V_s = D V_s \quad (3)$$

Gambar 1. Ideal buck converter. (a) Blok diagram. (b) domain waktu. (c) domain frekuensi

Gambar 2 memperlihatkan rangkaian *buck converter*, dimana saklar SPDT diganti dengan MOSFET dan filter ideal diganti dengan filter LC jenis *low pass*. Filter LC seperti pada gambar 2 tidak bisa menghapus semua harmonik frekuensi tinggi dan tegangan keluaran masih tetap mengandung komponen ac yang juga dikenal dengan nama riak tegangan keluaran.

Gambar 2. Analisis *steady state* buck converter. (a) Buck converter, (b) proses on dan off, (c) dan bentuk gelombang

Perancangan yang baik dari sebuah *buck converter* adalah untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil. Ketika *buck converter* dalam keadaan stabil, arus induktor berbentuk gelombang segitiga periodik dan tegangan keluaran mendekati konstan dengan komponen riak yang kecil [1]. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menganalisis riak keluaran dari *buck converter*. Pada penelitian ini, estimasi riak keluaran dianalisis dengan menggunakan domain frekuensi dan teknik *small-ripple approximation* dengan mengasumsikan sebuah resistif murni sebagai beban dari *buck converter*.

Analisis domain frekuensi yang digunakan untuk menentukan riak keluaran dari *buck converter* didasarkan karakteristik non ideal dari filter LC [1]. Fungsi transfer dari filter LC dengan beban resistif seperti pada persamaan (4)

$$F_f(s) = \frac{V_o(s)}{V_x(s)} = \frac{\frac{1}{sC}/R}{sL + \frac{1}{sC}/R} = \frac{1}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2}} \quad (4)$$

Dimana ω_0 adalah pole frekuensi

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

dan Q adalah *damping ratio* dari rangkaian filter

$$Q = R \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

Menggunakan persamaan fourier, maka output dari filter LC dapat ditentukan.

$$V_o(t) = c_o + \sum_{n=1}^{\infty} C'_n \sin(n\omega_s t + \theta'_n) \quad (7)$$

Sedangkan untuk koefisien harmonik sinusoida dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut;

$$C_n = \frac{\sqrt{2} V_s}{n\pi} \sqrt{1 - \cos(n2\pi D)} \quad (8)$$

Dimana orde harmonik berikutnya ditentukan dengan persamaan;

$$C'_n = C_n 10^{\frac{-40 \text{ Log}\left(\frac{n\omega_s}{\omega_0}\right)}{20}} \quad (9)$$

Satu hal yang penting dengan menggunakan analisis domain frekuensi dimana C_n merupakan koefisien harmonik fundamental yang jauh lebih besar dari koefisien harmonik lainnya, oleh karena itu amplitudo riak keluaran adalah;

$$\Delta V_o(t) \approx 2C'_1 \quad (10)$$

Teknik analisis *small-ripple approximation* mendalilkan bahwa komponen riak yang terkandung dalam keluaran *buck converter* sangat kecil sehingga tegangan keluaran dapat dianggap sebagai dc murni [1]. Dalam prakteknya, komponen riak tegangan keluaran memang lebih kecil jika dibandingkan dengan komponen dc. Pendekatan dengan cara ini dapat dibenarkan karena komponen rangkaian yang dipilih memang untuk meminimalkan tegangan riak keluaran sehingga pendekatan ini tidak membawa kerugian yang nyata dalam keakuratan analisis. Dalam teknik *small-ripple approximation* tegangan keluaran dianggap konstan untuk waktu *on* dan *off*. Berdasarkan gambar 2 (b), tegangan induktor dapat ditentukan berdasarkan persamaan (11).

$$v_L = \begin{cases} V_s - V_o & \text{untuk waktu on} \\ -V_o & \text{untuk waktu off} \end{cases} \quad (11)$$

Menentukan nilai tegangan keluaran

$$V_o = DV_s \quad (12)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai arus induktor yang mengalir sampai ke beban adalah

$$\bar{i}_L(t) = I_L = \frac{V_o}{R} \quad (13)$$

Menentukan arus induktor dan perbedaan antara maksimum dan minimum nilai arus induktor (Δi_L) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta i_L = \frac{V_L}{L} \Delta t = \frac{V_s - V_o}{L} DT_s = \frac{V_o}{L} (1 - D) T_s \quad (14)$$

$$i_{L \max} = I_L + \frac{1}{2} \Delta i_L \quad (15)$$

$$i_{L \min} = I_L - \frac{1}{2} \Delta i_L \quad (16)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai riak tegangan keluaran ΔV_o atau ΔV_{ac} adalah sebagai berikut.

$$\Delta V_o = \Delta V_{ac} = \frac{1}{8} \frac{V_o}{LC} (1 - D) T_s \quad (17)$$

Dari persamaan (17) dapat dilihat bahwa untuk mengurangi nilai riak tegangan, selain dari nilai induktansi juga dipengaruhi oleh nilai kapasitansi.

III. SIMULASI BUCK CONVERTER

Parameter yang digunakan pada rangkaian *buck converter* untuk simulasi adalah, $V_{in} = 24$ Volt, $T_s = 20 \mu s$, $D = 0.25$ dan beban resistor $R = 1$ Ohm. Sedangkan nilai induktor dan kapasitor adalah $90 \mu H$ dan $470 \mu f$.

Penelitian ini adalah membandingkan dua metode untuk melihat atau memprediksi riak keluaran dari *buck converter*. Dimana metode yang dipakai adalah pendekatan menggunakan domain frekuensi dan pendekatan dengan teknik *small-ripple approximation* berdasarkan pada analisis teori di atas.

Gambar 3. Rangkaian simulasi *buck converter*

IV. HASIL SIMULASI

Menggunakan persamaan yang telah dijabarkan pada analisis teori, maka hasil analisis terhadap rangkaian dapat dilihat pada table 1 dan tabel 2.

TABEL 1.
ANALISIS PARAMETER *BUCK CONVERTER* DENGAN
PENDEKATAN DOMAIN FREKUENSI

Parameter	Analisis
ω_o	$= \frac{1}{\sqrt{LC}}$ $= 4862,166 \text{ rad/s}$
ω_s	$= \frac{2\pi}{T_s}$ $= 314.10^3 \text{ rad/s}$
c_o	$= DV_s$ $= 6 \text{ V}$
c_1	$= \frac{\sqrt{2} V_s}{n\pi} \sqrt{1 - \cos(n2\pi D)}$ $= 10,805$

c'_1	$= C_1 \times 10^{\frac{-40 \log(\frac{n\omega_s}{\omega_0})}{20}}$ $= 2,59 \times 10^{-3}$
$\Delta V_o(t)$	$= 2C'_1$ $= 5,181 \text{ mV}$

Dari tabel 1 dapat dilihat hasil analisis parameter rangkaian *buck converter* menggunakan pendekatan domain frekuensi. Riak tegangan keluaran menggunakan metode ini adalah sebesar 5,181 mV. Sedangkan pada tabel 2 memperlihatkan analisis rangkaian *buck converter* menggunakan teknik *small-ripple approximation*. Besarnya riak tegangan keluaran dari *buck converter* menggunakan metode ini adalah sebesar 5,319 mV. Hasil analisis memperlihatkan perbedaan antara metode domain frekuensi dengan *small-ripple approximation*.

TABEL 2.
ANALISIS PARAMETER *BUCK CONVERTER* MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *SMALL-RIPPLE APPROXIMATION*

Parameter	Analisis
V_o	$= V_s D$ $= 6 \text{ V}$
V_{Lmax}	$= V_s - V_o$ $= 18 \text{ volt}$
V_{Lmin}	$= -V_o$ $= -6 \text{ volt}$
I_L	$= \frac{V_o}{R}$ $= 6 \text{ ampere}$
Δi_L	$= \frac{V_s - V_o}{L} D T_s$ $= 1 \text{ ampere}$
i_{Lmax}	$= I_L + \frac{1}{2} \Delta i_L$ $= 6,5 \text{ ampere}$
i_{Lmin}	$= I_L - \frac{1}{2} \Delta i_L$ $= 5,5 \text{ ampere}$
$\Delta V_o = \Delta V_{ac}$	$= \frac{1}{8LC} (1 - D) T_s$ $= 5,319 \text{ mV}$

Gambar 4 memperlihatkan bentuk gelombang hasil simulasi *buck converter* menggunakan komponen ideal. Dari hasil simulasi didapatkan nilai riak tegangan keluaran dari *buck converter* sebesar 5,089 mV. Simulasi ini dianggap ideal sehingga digunakan sebagai pedoman dari analisis menggunakan metode domain frekuensi dan metode *small ripple approximation*. Jika dilihat dari hasil analisis menggunakan metode domain frekuensi dan metode *small ripple approximation*, maka hasil analisis menggunakan metode domain frekuensi

lebih mendekati hasil ideal. Selisih antara metode domain frekuensi dengan hasil simulasi ideal sebesar 0,092 mV, sedangkan selisih antara *small-ripple approximation* dengan hasil simulasi ideal sebesar 0,230 mV. Dengan demikian metode domain frekuensi lebih akurasi jika dibandingkan dengan metode *small-ripple approximation*.

Gambar 4. Gelombang hasil simulasi *buck converter*

V. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan, didapatkan nilai riak tegangan keluaran *buck converter* menggunakan metode domain frekuensi sebesar 5,181 mV dan analisis menggunakan metode *small-ripple approximation* sebesar 5,319 mV. Sedangkan riak tegangan keluaran

hasil simulasi yang dianggap ideal adalah 5,089 mV. Dengan demikian hasil analisis yang lebih mendekati hasil ideal dari kedua metode tersebut adalah metode domain frekuensi. Dengan kata lain, berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka keakurasian metode domain frekuensi lebih tinggi dari pada *small ripple approximation*.

REFERENSI

- [1] Byungcho choi, *Pulse Width Modulated DC to DC Power Conversion*, John Wiley & Sons, 2013.
- [2] Archana bhat, "Analysis of ripple content in dc-dc converter" *International Journal of Inventive Engineering and Science (IJIES)*, ISSN: 2319-9598, Volume-1, Issue-7, June 2013.
- [3] Hyun-lark Do, "Single-Switch Buck Converter with a Ripple-Free Inductor Current", *Journal of Power Electronic*, Vol 11, No. 4, Juli 2011.
- [4] H. N. Nagaraja, D. Kastha and A. Patra, "Generalized analysis of integrated magnetic component based low voltage interleaved dc-dc buck converter for efficiency improvement", *IEEE International Symp. Circuits and Systems ISCAS 2005*, 3, 2005, 2485-2489.
- [5] A. C. Chow and D. J. Perreault, "Design and evaluation of an active ripple filter using voltage injection", *IEEE 32nd Annual Conf. Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, Vancouver, BC, 1, 2001, 390-397.