

Kendali Pensaklaran Freewheel untuk Pensaklaran Konverter PCCM

Maickel Tuegeh, ST., MT.*

*Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia,
Email : m_tuegeh@yahoo.co.id

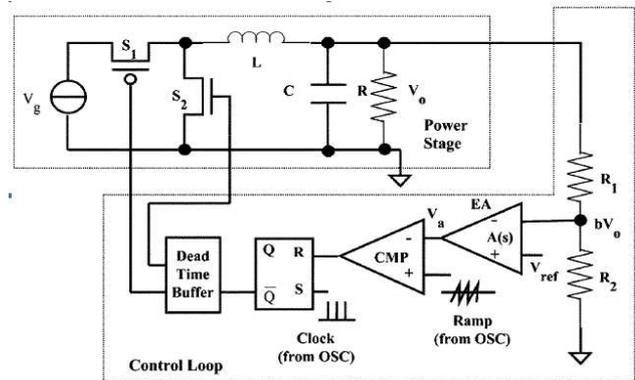
Abstrak – Presentasi singkat ini tentang pensaklaran konverter dalam pseudo-continuous conduction mode (PCCM) dengan kendali pensaklaran freewheel. Dibandingkan dengan konverter discontinuous conduction mode (DCM) konvensional, konverter ini memperlihatkan kemampuan dalam penanganan arus yang lebih baik dengan mengurangi riak arus dan tegangan, membuat tanggapan transien beban lebih cepat daripada continuous conduction mode (CCM). Hasil simulasi dan pengujian diperlihatkan bahwa konverter PCCM mempunyai riak arus dan riak tegangan lebih kecil dibandingkan konverter DCM, dan juga konverter PCCM membutuhkan waktu lebih cepat untuk merespon perubahan arus beban dibanding CCM. Dengan membandingkan antara 3 topologi pensaklaran freewheel yang digunakan juga dapat dilihat hasilnya

Keywords: Riak arus, Riak tegangan, pensaklaran freewheel, PCCM, pensaklaran converter.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dan penggunaan alat-alat elektronika saat ini semakin pesat dan pengembangan dari peralatan - peralatan elektronik dengan performa tinggi memaksakan tantangan – tantangan baru dalam penyediaan daya. Aktifitas komputer dengan jumlah yang banyak mengakibatkan perubahan arus yang drastis dalam waktu yang singkat pada penyedia daya. Untuk memelihara performa dan memastikan kestabilan sistem, penyedia daya harus memiliki kemampuan untuk menangani arus yang keluar dengan tanggapan transien cepat [1].

Konverter daya mode saklar, atau disingkat konverter pensaklaran, telah sangat luas digunakan. Itu adalah komponen penting untuk penyediaan daya yang berkualitas dan bersih untuk peralatan – peralatan elektronik tegangan rendah. Gambar 1 menunjukkan diagram blok rangkaian dari konverter pensaklaran Buck konvensional. Peralatan tersebut menyediakan daya peralatan – peralatan elektronik dengan pengaturan tegangan suplai, efisiensi tinggi dan konversi tegangan yang fleksibel. Dibandingkan dengan topologi *Boost* dan *Buck-Boost*, *Buck* konverter menghasilkan arus keluar *continuous* ketika beroperasi dalam *continuous conduction mode* (CCM), memberikan arus riak yang kecil, jadi memberikan gangguan pensaklaran yang rendah. Operasi CCM lebih disukai untuk aplikasi arus besar, karena dapat menyalurkan arus tambahan daripada konverter yang beroperasi



Gambar 1 Konverter Buck Konvensional

pada *discontinuous conduction mode* (DCM) [2]. Bagaimanapun, konverter DCM biasanya menanggapi transien lebih cepat dan lebih mudah mengkompensasi *loop gain* daripada konverter CCM.

Dengan kebutuhan yang sangat besar antara tanggapan transien yang cepat dan kemampuan arus yang besar, sangat diinginkan untuk memiliki konverter baru dengan menggabungkan kelebihan dari konverter CCM dan DCM.

Untuk menyelesaikan masalah tersebut digunakan *Pseudo CCM* (PCCM) konverter menggunakan kendali saklar *freewheel* dengan topologi buck dan kemudian dilakukan perbandingan jika menggunakan topologi boost dan buck-boost.

II. TINJAUAN DESAIN

A. Riak arus dan gangguan pensaklaran beban besar

Operasi dari konverter pensaklaran dapat diklasifikasikan sebagai CCM atau DCM, berdasarkan arus induktor seperti terlihat pada Gambar 2. Ketika beban bertambah besar, arus induktor tetap diatas nol untuk menyalurkan arus ke beban. Konverter beroperasi sebagai CCM dan tiap periode pensaklaran T_s dibagi dalam dua bagian: $D_1 T_s$ dan $D_2 T_s$ ($D_1 + D_2 = 1$). Ini akan menurun selama $D_2 T_s$ ketika S_1 off dan S_2 on. Ketika beban berkurang maka arus induktor naik, kemudian turun secara tajam dan tertahan di nol untuk setiap siklus. Setiap siklus

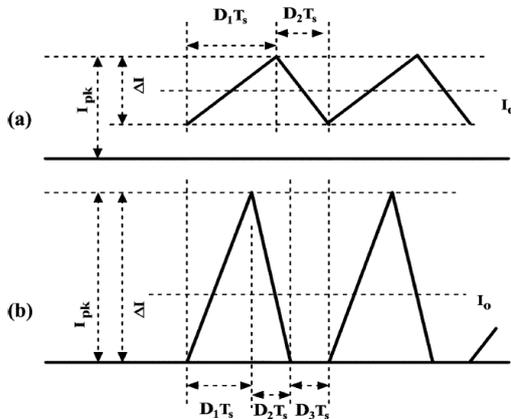
pensaklaran dibagi dalam tiga bagian: D_1T_s , D_2T_s dan D_3T_s ($D_1+D_2+D_3=1$). Bentuk gelombang arus induktor dalam D_1T_s dan D_2T_s adalah sama seperti dalam CCM, tetapi berada di nol selama D_3T_s ketika S_1 dan S_2 off. Konverter kemudian beroperasi dalam DCM. Untuk konverter CCM, tingkatan dc dari arus induktor I_0 bertambah untuk menyalurkan arus beban yang besar, sedangkan riak arus ΔI dijaga konstan dan kecil. Bagaimanapun untuk konverter DCM, dalam menyalurkan arus beban yang sama, harus menggunakan induktor dengan nilai yang kecil, dan arus induktor bertambah lebih tajam dari nol ke arus puncak I_{pk} yang lebih tinggi. Sebagai hasilnya, riak arus ΔI sangat besar, membangkitkan gangguan pensaklaran dan riak tegangan yang besar pada keluaran.

B. Tanggapan transien dan loop gain bandwidth

Pensaklaran konverter dapat beroperasi dengan program kendali tegangan atau arus pada keluaran. Dengan kendali program tegangan fungsi transfer *loop gain* dapat ditunjukkan menjadi [3]

$$T(s) = A(s) \cdot H(s) = \frac{A(s)b \cdot V_O}{DV_m} \frac{1}{1 + \frac{1}{Q} \frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \quad (1)$$

Dengan $A(s)$ adalah gain dari perbesaran kesalahan yang terdiri dari *op-amp* dan kompensasi jaringan, $H(s)$ adalah fungsi transfer kendali keluaran, b adalah faktor penskalaan, D adalah duty rasio dari konverter, V_m adalah tegangan puncak dari osilator, V_o adalah tegangan keluaran, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ adalah frekuensi dari kutub kompleks, dan Q adalah faktor kualitas. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3(a), dengan adanya kutub kompleks pada kendali fungsi transfer keluaran membuat sangat sulit untuk mendesain kompensator untuk mencapai *loop gain* dengan *bandwidth* yang lebar [3]. Ketika konverter beroperasi dengan kendali program arus, kendali fungsi transfer keluaran terdiri dari dua kutub nyata [3]. Metode kompensasi pole zero dapat digunakan untuk mencapai gain bandwidth yang lebar [4].



Gambar 2. Arus induktor saklar konverter (a) CCM dan (b) DCM

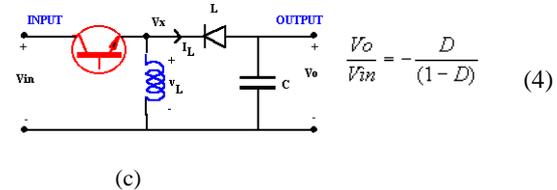
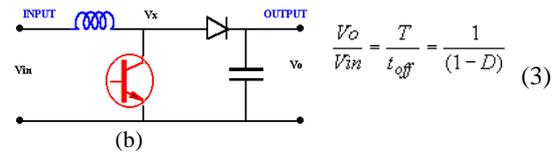
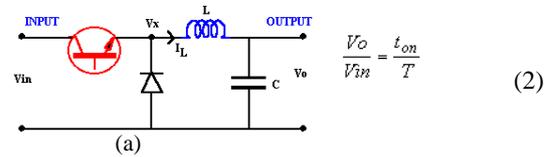
III. KONVERTER PCCM YANG DIUSULKAN

A. Umum

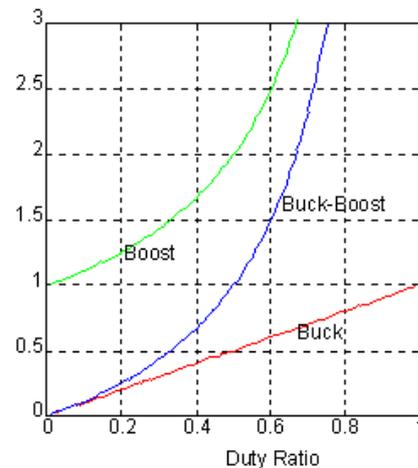
Buck, boost dan buck-boost konverter secara umum digambarkan seperti pada gambar 3. Hubungan antara duty ratio dengan tegangan output dapat digambarkan seperti pada gambar 4.

B. Konverter dengan kendali pensaklaran freewheel

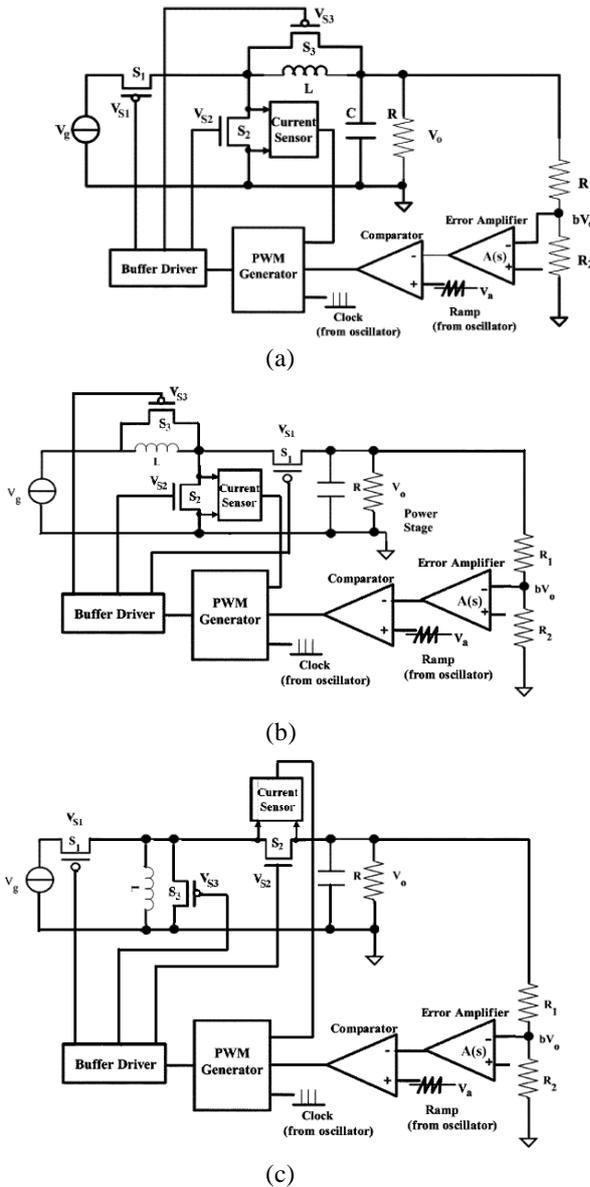
Untuk mengurangi secara efektif arus induktor puncak dalam satu induktor keluaran banyak (SIMO) pensaklaran konverter, diusulkan skema kendali pensaklaran freewheel [5]. Pensaklaran konverter yang baru diusulkan dalam Gambar 5



Gambar 3 a. Buck Konverter, b. Boost Konverter, c. Buck-Boost Konverter

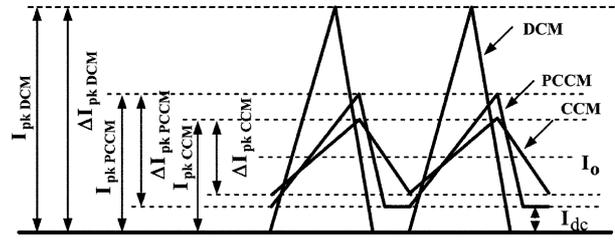


Gambar 4. Hubungan duty ratio dengan tegangan output



Gambar 5. Blok diagram konverter yang diusulkan. (a) Topologi Buck, (b) Topologi Boost, (c) Topologi Buck-boost

Berbeda dengan Buck konverter konvensional, penambahan saklar daya S_3 (disebut saklar freewheel) pMOS ditambahkan pada induktor. Selama periode D_1T_s , saklar pMOS S_1 dalam keadaan on, sedangkan saklar S_2 dan S_3 off. Arus induktor bertambah dengan kemiringan $(V_g - V_o) / L$. Dalam D_2T_s , S_1 dan S_3 off. Saat Saklar daya nMOS S_2 on. Arus induktor berkurang dengan kemiringan $-V_o/L$ sampai mencapai tingkatan arus I_{dc} . Kemudian konverter memasuki periode D_3T_s dengan S_3 on sementara S_1 dan S_2 off. Arus induktor tetap konstan pada I_{dc} karena saklar S_3 menghubungkan L dan tegangan pada induktor menjadi sama dengan nol. Pengoperasian dari *Buck* konverter



Gambar 6. Bentuk gelombang arus induktor dalam tiga mode operasi yang berbeda.

pensaklaran *freewheel* sama dengan DCM tradisional, tetapi arus induktor tetap konstan pada nilai I_{dc} sebagai pengganti nol selama D_3T_s . Ini memungkinkan konverter untuk menyalurkan arus yang besar dengan menyederhanakan *Boosting* tingkatan arus I_{dc} dalam Gbr. 6.

Tingkatan dari I_{dc} ditentukan secara adaptif oleh daya beban waktu nyata dari konverter. Dengan V_o adalah tetap, daya beban adalah proporsional linier dengan arus beban dan arus induktor. Sensor arus yang terpadu untuk pengukuran arus online [6]. Berdasarkan arus beban, satu dari delapan tingkatan I_{dc} yang sudah diketahui akan digunakan. Jika rangkaian sensor arus merasakan arus besar, maka tingkatan tinggi dari I_{dc} dipilih. Selain itu, salah satu yang rendah akan digunakan untuk daya beban rendah. Rangkaian kendali memastikan bahwa I_{dc} selalu lebih rendah sedikit daripada arus beban rata – rata I_o untuk memastikan operasi PCCM, dan menyesuaikan I_{dc} menurut batas waktu on dari S_3 supaya lebih kurang dari 5% dari setiap periode pensaklaran. Oleh karena itu, arus rata – rata dari S_3 sangat rendah daripada S_1 dan S_2 , dan rugi daya karena S_3 dapat sangat rendah, sehingga memungkinkan S_3 untuk di implementasikan oleh kebanyakan transistor dengan daya yang sangat kecil. Mode operasi ini disebut PCCM dalam [5] karena mendapatkan kemampuan penanganan arus yang sama seperti konverter CCM, tetapi bentuk arus induktor adalah menyerupai konverter DCM. Keuntungan dari konverter ini adalah mengurangi riak arus dan tegangan.

C. Peningkatan Bandwith pada desain yang diusulkan

Fitur yang lain dari operasi PCCM adalah performansi transien yang cukup baik. Sama dengan konverter DCM, konverter PCCM memperlihatkan perilaku sistem satu kutub. Hal ini dapat dijelaskan dengan melihat Gbr. 2(b). Untuk konverter CCM, tingkatan dayanya adalah sistem orde dua karena dua komponen reaktif C dan L dengan variabel keadaan yang berhubungan dengan tegangan kapasitor V_C dan arus induktor I_L . Bagaimanapun, untuk konverter DCM, I_L di set ke nol pada setiap siklus pensaklaran, eliminasi I_L sebagai variabel keadaan dan orde dari sistem direduksi ke 1. Untuk kasus PCCM, I_L di set ke I_{dc} konstan setiap siklus pensaklaran. Dalam kondisi

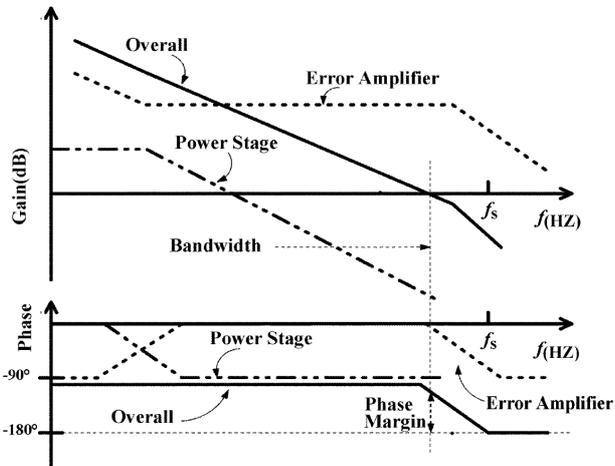
analisis sinyal kecil, I_L disamakan di set ke nol, dan fungsi transfer dari tingkatan daya kemudian pada orde satu. Oleh karena itu, kompensasi pole zero [7] dapat digunakan untuk memperluas *bandwidth loop gain*, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7(a). Untuk perbandingan, metode kompensasi pole dominan untuk konverter CCM di tunjukkan dalam Gambar 7(b).

I. HASIL DAN SIMULASI PERCOBAAN

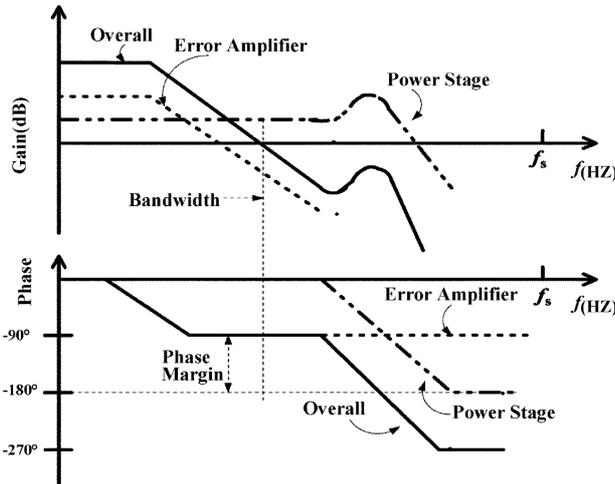
Untuk verifikasi ide dari desain, tiga *Buck* konverter, beroperasi dalam DCM, CCM, dan PCCM, secara berurutan di desain. Kunci spesifikasi desain diperlihatkan dalam Tabel 1. Untuk perbandingan yang seimbang, konverter

dioperasikan dengan daya beban, frekuensi pensaklaran, tegangan masukan dan arus masukan yang sama. Bagaimanapun, untuk menyalurkan daya yang sama, perubahan dalam arus induktor dari konverter DCM harus lebih besar dari yang lain, dan induktor yang lebih kecil ($10\mu H$) yang digunakan. Sebagai konsekuensinya, untuk menjaga riak tegangan yang sama, konverter DCM membutuhkan kapasitor filter yang besar ($50\mu F$). Dengan mengabaikan kapasitor yang lebih besar, konverter DCM masih menghasilkan arus dan tegangan riak yang lebih besar dan itu juga yang selalu menyebabkan tanggapan transien menjadi lambat. Karena itu, konverter DCM memberikan tanggapan transien, riak arus dan tegangan yang paling buruk. Dengan demikian hasil perbandingan jadi di fokuskan pada konverter CCM dan PCCM.

Di lain pihak, jika diperbandingkan PCCM dengan topologi yang berbeda maka diperoleh seperti pada gambar 9.



(a)

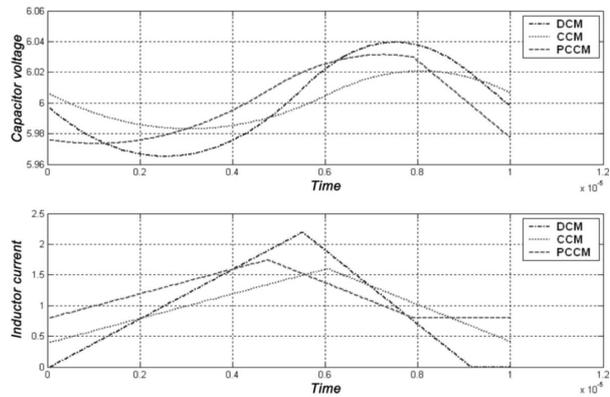


(b)

Gambar 7 (a) Kompensasi pole zero buck konverter PCCM. (b) Kompensasi pole dominan buck konverter CCM

TABLE I
DESIGN SPECIFICATIONS OF THE THREE CONVERTERS

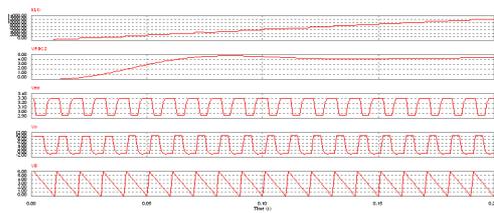
	DCM	CCM	PCCM
Filter capacitor C (μF)	50	20	20
Inductor L (μH)	10	20	20
Load R (Ω)	6	6	6
Switching frequency f_s (kHz)	100	100	100
Input voltage V_g (V)	10	10	10
Output voltage V_O (V)	6	6	6
Voltage reference V_{ref} (V)	2	2	2
Scaling factor b	1/3	1/3	1/3



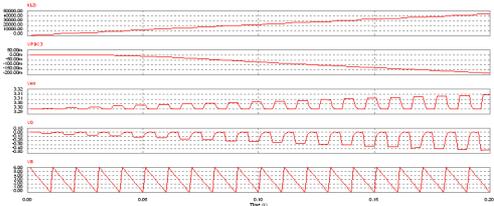
Gambar 8. Tegangan keluaran dan arus induktor dari tiga konverter.



(a)



(d)



(e)

Gambar 9. Hasil Simulasi dari a. Topologi Buck, b. Topologi Boost, c. Topologi Buck-Boost

RIWAYAT PENULIS



Lahir di Manado, 19 Maret 1976, meraih gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi pada tahun 2002, Magister Teknik dari Jurusan Elektro bidang Studi Sistem Tenaga Listrik Institut Teknologi Sepuluh Nopember, saat ini merupakan staf pengajar tetap di Universitas Sam Ratulangi Manado pada Fakultas Teknik Jurusan Elektro sejak 2005.

V. KESIMPULAN

Hasil percobaan dengan perbandingan penggunaan tiga tipe pensklaran freewheel menunjukkan bahwa hasil keluaran mengikuti karakteristik dasar dari masing-masing topologi. Hasil simulasi dan pengujian diperlihatkan bahwa converter PCCM mempunyai riak arus dan riak tegangan lebih kecil dibandingkan konverter DCM, dan juga konverter PCCM membutuhkan waktu lebih cepat untuk merespon perubahan arus beban dibanding CCM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.T. Zhang et al., "Design considn considerations for low-voltage on-board DC/DC modules for next generations of data processing circuits", IEEE Trans.Power Electron, vol 11, no 3, pp. 328-337, Mar. 1996.
- [2] R.Erickson and D.Maksimovic, *Fundamentals of power Electronics*, 2nd ed. Norwell, MA: Kluwer, 2000.
- [3] W.H.Ki, "Signal flow graph in loop gain analysis of dc-dc PWMCCM switching converters", IEEE Trans. Circuit Syst. 1, Fundam. Theory Appl., no 6, pp. 644-654, Jun.1998.
- [4] C.Lee and P.Mok, "A monolithic current-mode CMOS dc-dc converters with on-chip current sensing technique", IEEE J.Solid-State Circuit, vol. 39, no. 1, pp. 3-14, Jan. 2004.
- [5] D.Ma, W.H.Ki, and C.Y. Tsui,"A Pseudo-CCM/DCM SIMO switching converter with freewheel switching", IEEE J. Solid-state Circuit, vol. 38, no 6, pp.1007-1014, Jun. 2003.
- [6] D. Ma and C. Zhang, "Thermal compensation method for CMOS digital integrated circuits using temperature-adaptive dc-dc converter", IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs, vol. 53, no. 11, pp. 1284-1288, Nov. 2006
- [7] D.Ma et al., "Single-inductor dual-output CMOS switching converters in discontinuous-conduction mode with time-multiplexing control", IEEE J.Solid-State Circuits, vol. 38, no. 1, pp.89-100, Jan. 2003.