

D-CAP2™周波数応答モデル リップル注入を使用したボトム検出による 固定オン時間の周波数ドメイン分析に基づく

著者：Toshiyuki (Rick) Zaitso, Sales and Marketing, Power Technologist, TI-Japan

共著者：Katsuya Goto, Takahiro Miyazaki, Digital Consumer Products, Junichi Yamamoto, Sales and Marketing, TI-Japan

要約

基本的に非線形制御であるヒステリシス制御[2]は、その高速な過渡応答によって、重要な制御手法の1つとなっています。通常のヒステリシス制御には、比較的ESRの高い出力コンデンサが必要とされます。ヒステリシス制御にリップル注入を付加することで、ESRの低いセラミック出力コンデンサも使用可能になります[3]-[6]。図1は、「リップル注入を使用したボトム検出による固定オン時間」の制御トポロジを示しています。ヒステリシス制御の一種であるこのトポロジは、擬似固定PWM周波数で動作し、低ESRのセラミック出力コンデンサを使用できることで、広く使われるようになりました。興味深いこととして、この制御方法は線形制御のように振る舞い、広いループ帯域幅 f_{bw} を維持しながら、電圧モード制御に類似した周波数応答(ボード線図)を示します。最適なDC-DCコンバータ設計のために、「リップル注入を使用したボトム検出による固定オン時間」の周波数ドメイン分析が実施されています[1]。これは、次の2つの仮定に基づいています。1つは、(a)スイッチング周波数よりも低い周波数に対する「小信号分析」において、平

均化されたモデルを適用可能であること、もう1つは、(b)注入されるリップル電圧がリファレンス電圧と比較して小さいことです。その結果、リップル注入を使用したコンパレータは、1個のゼロ(1次リード・システム)を持つ特性を示します。コンバータの開ループ伝達関数は、式(1)で表されます。図2は、式(1)に基づく周波数応答の近似曲線(ボード線図)を示しています。ゼロが1つであるため、位相は+90度に向けて増加し、広いループ帯域幅を持つシステムの安定性を大きく向上させます。これは、電圧モード制御(図3)や電流モード制御(図4)などの従来の線形制御に比べて利点となります。それらの線形制御では、PWMおよび誤差増幅器補償回路での遅延時間 e^{-sT} により、高い周波数範囲では位相曲線が0度以下にロールオフします。

D-CAP2™制御の動作は、概念的にこの「リップル注入を使用したボトム検出による固定オン時間」と似ています。違いは、リップル注入回路がシリコン上に統合されていることです。そのため、動作が安定しています。

すべて商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

この資料は、Texas Instruments Incorporated(TI)が英文で記述した資料を、皆様のご理解の一助として頂くために日本テキサス・インスツルメンツ(日本TI)が英文から和文へ翻訳して作成したものです。資料によっては正規英語版資料の更新に対応していないものがあります。日本TIによる和文資料は、あくまでもTI正規英語版をご理解頂くための補助的参考資料としてご使用下さい。製品のご検討およびご採用にあたりましては必ず正規英語版の最新資料をご確認下さい。TIおよび日本TIは、正規英語版にて更新の情報を提供しているにもかかわらず、更新以前の情報に基づいて発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。

SLVA546 翻訳版

最新の英語版資料
<http://www.ti.com/lit/slva546>

内 容

1. D-CAP2™の開ループ伝達関数 4

 1.1 ブロック図 4

 1.2 Hcomp(s)：リップル注入を使用したコンパレータの伝達関数 4

 1.3 D-CAP2™の開ループ伝達関数 4

 1.4 Gdv(s)：プラント (DutyからVOへのパワー段伝達関数) 4

 1.5 固定オン時間の遅延係数 5

 1.6 D-CAP2™のボード線図 5

 1.7 ボード線図用の測定ブロック図 5

2. ボード線図 (周波数応答)の測定データ 7

 2.1 TPS54325 (コンバータ・タイプ) 8

 2.2 TPS53114(コントローラ) 9

 2.3 フィードフォワード・コンデンサによる位相補償手法 (1ポール-1ゼロのHFB(s)) 10

参考文献 12

付録A 13

 A.1 ヒステリシス制御にリップル注入を使用したヒステリシス・コンパレータの伝達関数の導出方法 13

 A.2 $V_O = 0$ の場合 (V_O 短絡) 13

 A.3 $V_1 = 0$ の場合 (V_1 短絡) 14

 A.4 ΔV_o から ΔD への伝達関数 (小信号動的特性分析) 16

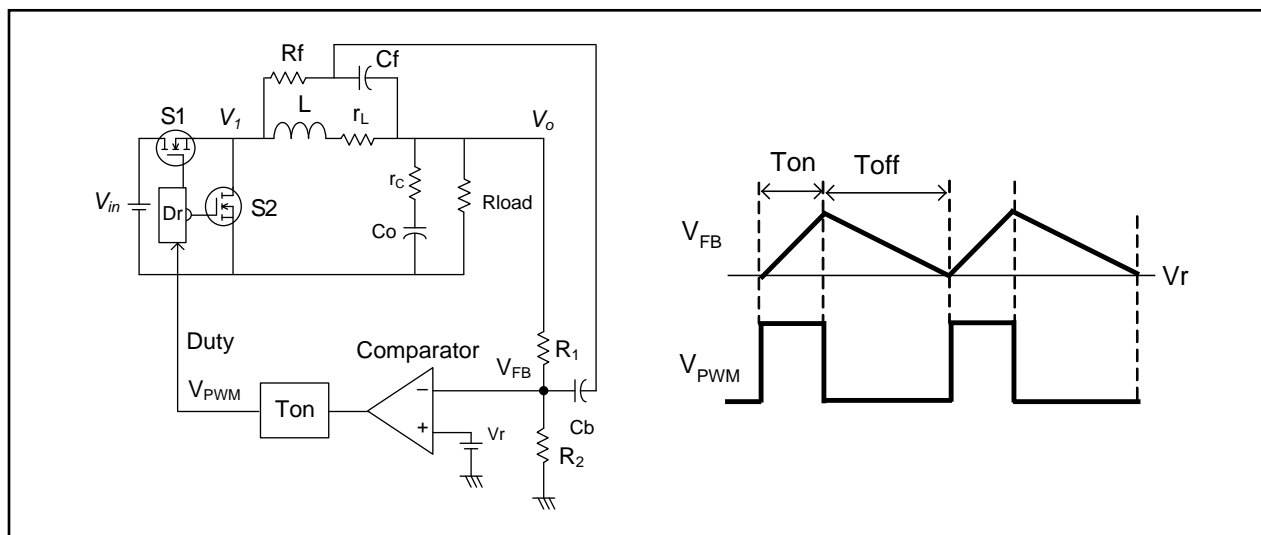


図 1. 「リップル注入を使用したボトム検出による固定オン時間」のブロック図[1]

$$G_{open}(s) = G_{dv}(s) \underbrace{\frac{A}{V_{in}}(1 + sT_c)}_{H_{comp}(s)} H_d(s) \quad (1)$$

ここで、 $G_{dv}(s)$ はDutyから V_o への伝達関数であり、既知の「状態空間平均化モデル」を使用して求められます。

$H_{comp}(s)$: リップル注入回路を搭載したコンパレータの V_o からDutyへの伝達関数

$A = \frac{R_f}{R_1}$: リップル注入回路の電圧ゲイン

$T_c = R_1 C_f$: リップル注入回路の時定数

$H_d(s) = e^{-sT_{on}/2}$: 固定オン時間の遅延係数

式(1)の導出については、付録Aを参照してください。

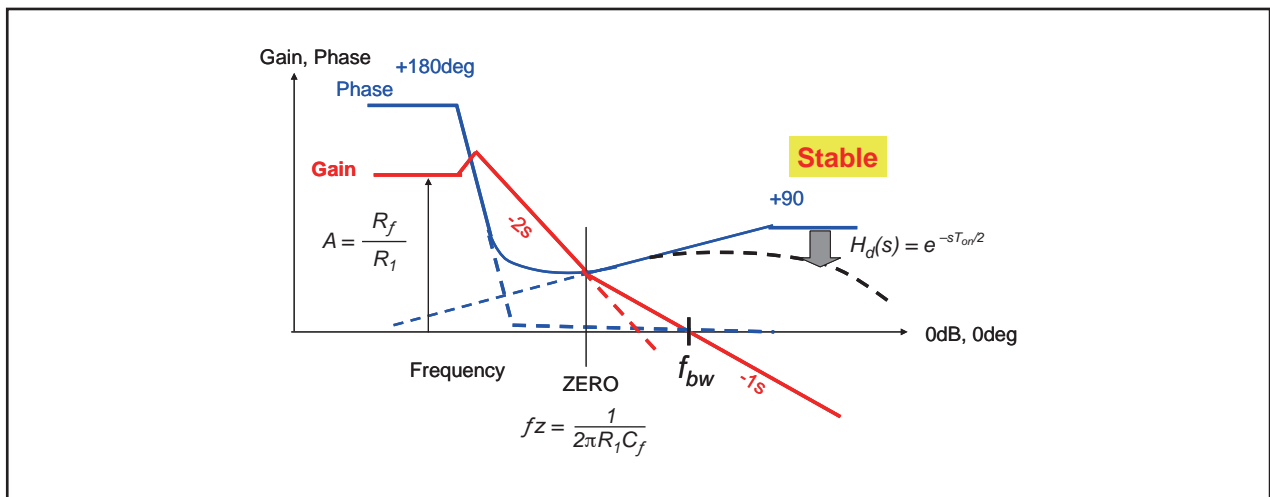


図 2. 「リップル注入を使用したボトム検出による固定オン時間」の周波数応答(ボード線図) [1]

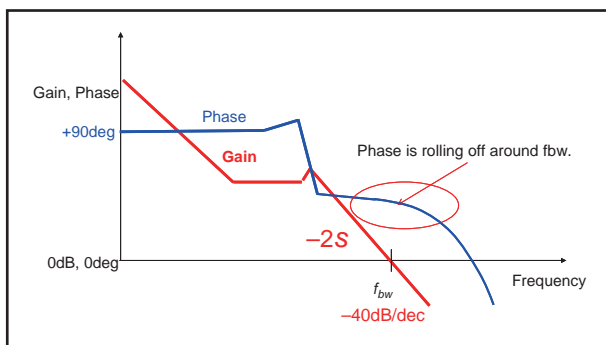


図 3. 電圧モード制御のボード線図

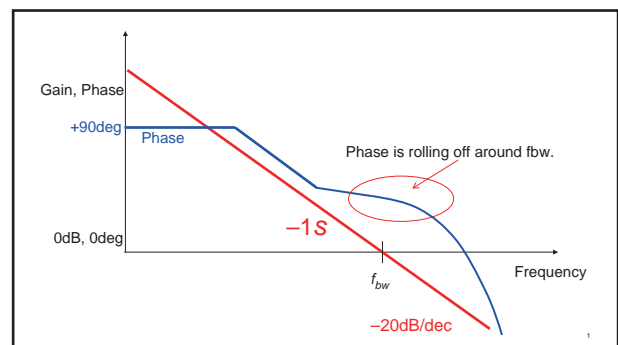


図 4. 電流モード制御のボード線図

1 D-CAP2™の開ループ伝達関数

1.1 ブロック図

図5に、リップル注入回路を搭載したコンパレータを含むD-CAP2™のブロック図を示します。開ループ伝達関数は、式(2)で表される必要があります。

$$G_{open}(s) = G_{dv}(s)H_{FB}(s)H_{COMP}(s)H_d(s) \quad (2)$$

ここで、 $G_{dv}(s)$ はDutyから V_o への伝達関数であり、既知の「状態空間平均化モデル」を使用して求められます。

$H_{FB}(s)$ は、帰還分圧回路の V_o から V_{FB} への伝達関数です。

$H_{COMP}(s)$ は、リップル注入回路を搭載したコンパレータの V_{FB} からDutyへの伝達関数です。

$H_d(s) = e^{-sT_{on}/2}$ は、固定オン時間による遅延時間です。

1.2 $H_{COMP}(s)$: リップル注入を使用したコンパレータの伝達関数

論文[1]により、リップル注入回路を搭載したコンパレータは1個のゼロを持ち(1次リード・システム)、その時定数はコンデンサと抵抗の回路によって定義されることがわかっています。

図5で、 $H_{COMP}(s)$ はコンパレータとリップル注入回路から構成されています。また、リップル注入回路は、時定数ブロック(T_c)と電圧圧縮ブロック($1/A_{cp}$)から構成されます。したがって、伝達関数 $H_{COMP}(s)$ は次のように表されます。

$$H_{COMP}(s) = \frac{\Delta D(s)}{\Delta V_{FB}(s)} = \frac{A_{cp}}{V_{in}}(1 + sT_c) \quad (3)$$

1.3 $H_{FB}(s)$: 帰還分圧回路

V_o から V_{FB} への伝達関数は、次のように与えられます。

$$H_{FB}(s) = \frac{R_2}{Z_1(s) + R_2} \quad (4)$$

ここで、

$$Z_1(s) = \frac{R_1}{1 + sC_1R_1} \quad (5)$$

$H_{FB}(s)$ のDCゲインは次のようになります。

$$H_{FB}(0) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{ref}}{V_o} \quad (6)$$

1.4 $G_{dv}(s)$: プラント(Dutyから V_o への電源段伝達関数)

$G_{dv}(s)$ は、既知の「状態空間平均化モデル」を使用して、次のように与えられます。

$$G_{dv}(s) = \frac{V_{in} \left(1 + \frac{s}{\omega_{esr}}\right)}{1 + 2\delta \frac{s}{\omega_o} + \left(\frac{s}{\omega_o}\right)^2} \quad (7)$$

ここで、

$$\delta = \frac{\sqrt{L/C_o} + R_L(r_L + r_C)\sqrt{C_o/L}}{2R_L\sqrt{1 + r_L/R_L}}$$

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1 + r_L/R_L}{LC_o}} \quad (8)$$

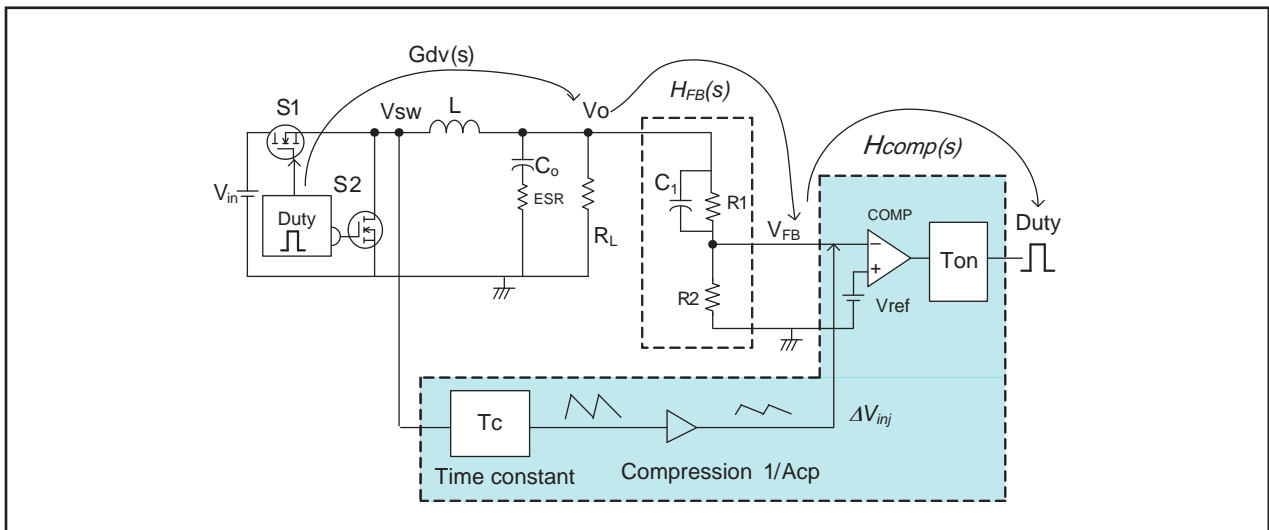


図 5. D-CAP2のブロック図

1.5 固定オン時間の遅延係数

固定オン時間中はデューティ比を変更できないため、これは次のように表される遅延として考える必要があります。

$$H_d(s) = e^{-sT_{on}/2} \quad (9)$$

1.6 D-CAP2™のボード線図

式(2)で表される開ループ伝達関数の曲線イメージを図6に示します。開ループ伝達関数 $G_{open}(0)$ のDCゲインは、次のように求められます。

$$G_{open}(0) = A_{cp} \times H_{FB}(0) = A_{cp} \times \frac{V_{ref}}{V_o} \quad (10)$$

1.7 ボード線図用の測定ブロック図

図7に、ボード線図の測定方法を示します。ここでは、帰還回路と直列に信号注入抵抗を接続する一般的な手法を用いています。FRA(周波数応答アナライザ)からの注入信号 V_{sig} は、注入されるリップルの振幅と比較して十分に小さくする必要があります。通常、 V_{sig} は1mVpp~3mVpp程度とします。これにより、図7に示す V_a から V_b への伝達関数を測定します。

注： V_o ピンがある場合は、図7-(a)に示すように、 R_1 および V_o ピンに信号注入抵抗(51Ω)を接続する必要があります。この場合、51Ωの抵抗を図8のように R_1 だけに接続することは避けてください。 V_o ピンがない場合は、図7-(b)に示すように、 R_1 と V_o の間に51Ωを接続します。

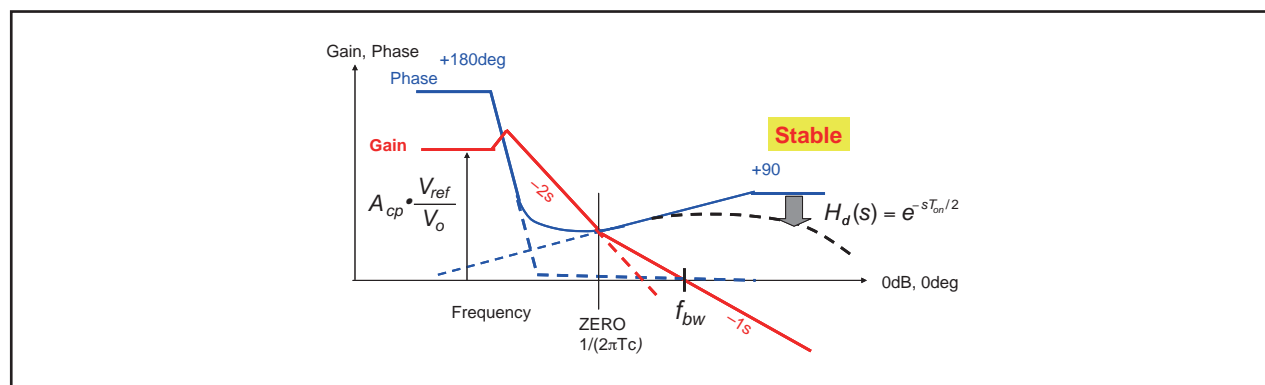


図 6. D-CAP2™の周波数応答(ボード線図)

		パッケージ	図7の測定構成	デバイス (ECOモード非対応デバイスと対応デバイスがある場合は"/"で区切って示す)
コンバータ	シングル		(a)	TPS54225/226, TPS54325/326, TPS54425/426, TPS54429/429E, TPS54525/526, TPS54625/626 ⁽¹⁾
		8SOP	(b)	TPS54227/228, TPS54327/328, TPS54427/428, TPS54527/528, TPS54627/628 ⁽¹⁾ , TPS54229/229E, TPS54329/329E, TPS54339/339E ⁽¹⁾ , TPS54239/239E ⁽¹⁾ , TPS54339/339E ⁽¹⁾ , TPS54528/428 ⁽¹⁾ , TPS56228/328 ⁽¹⁾
	デュアル	HTSSOP16	(b)	TPS54294/295, TPS54394/395, TPS54494/495, TPS542941/2951
コントローラ	シングル	HTSSOP16	(a)	TPS53114
		VSSOP10	(b)	TPS53014/015
	デュアル	TSSOP24	(a)	TPS53125, TPS53126, TPS53127, TPS53128, TPS53129

表 1. 2012年12月時点での対応デバイス

(1) 開発中

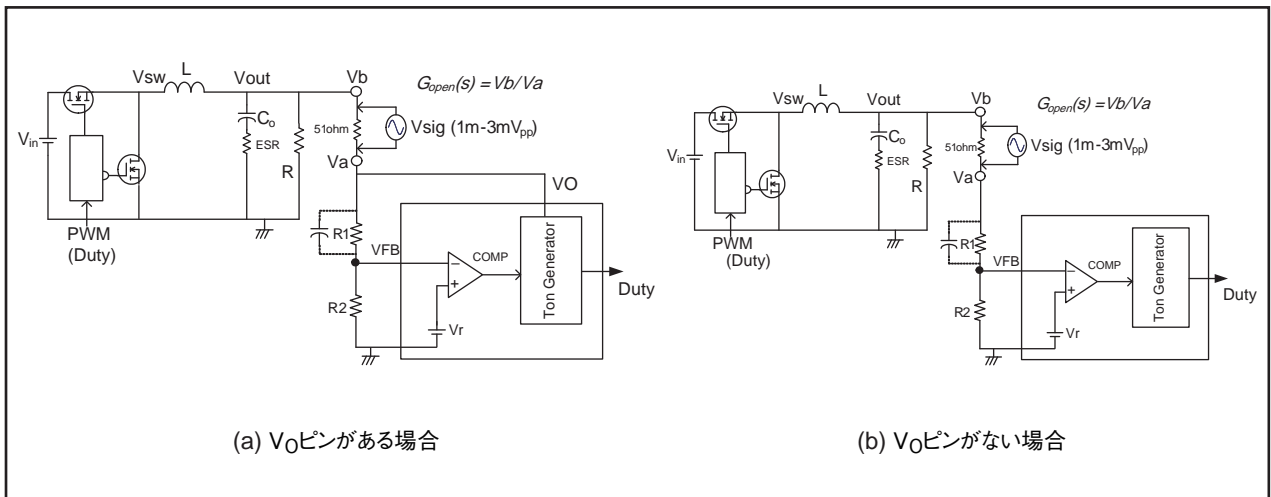


図 7. ボード線図用の測定ブロック図

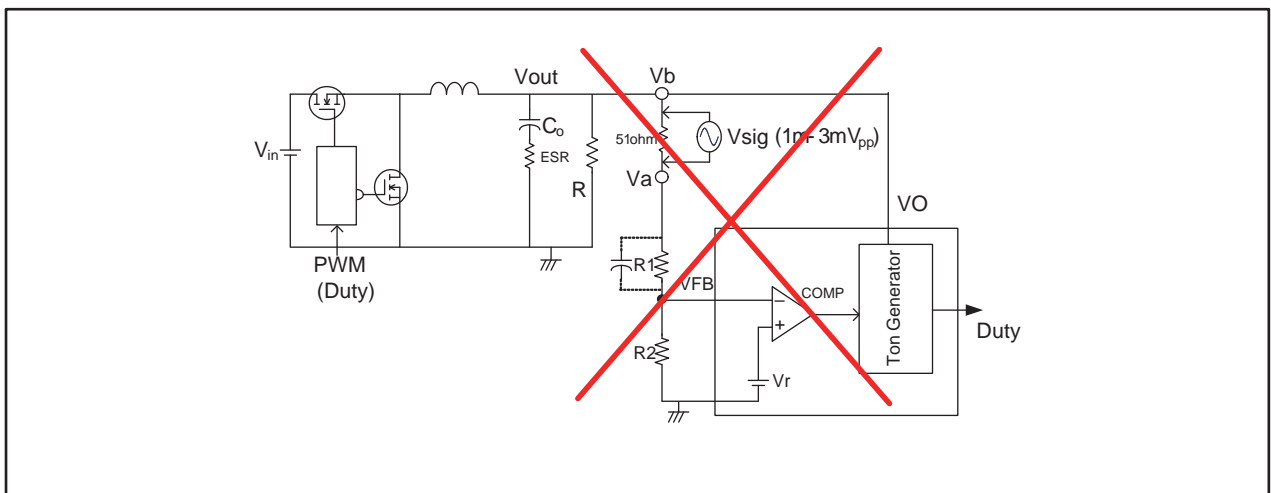


図 8. D-CAP2(VOピンがある場合)のボード線図の不適切な測定ブロック図

2 ボード線図 (周波数応答) の測定データ

ここでは、TPS54325(コンバータ)およびTPS53114(コントローラ)の例を示します。表2および表3に、各種条件で測定した各デバイスのAcpおよびTcの値を示します。

デバイス	条件			Acp	Tc (us)
	Vin(V)	Vo(V)	L(uH)		
TPS54325 (fsw=700kHz)	12.0	1.05	1.5	65	1.06
		1.2	1.5	70	
		1.5	1.5	78	
		1.8	2.2	84	
		2.5	2.2	96	
		3.3	2.2	104	
		5.0	3.3	114	

表 2.

TPS53114(コントローラ)

デバイス	条件			Acp	Tc (us)
	Vin(V)	Vo(V)	L(uH)		
TPS53114 (fsw=700kHz)	12.0	1.05	1.5	35	0.95
		1.2	1.5	36	
		1.5	1.5	38	
		1.8	2.2	39	
		2.5	2.2	41	
		3.3	2.2	42	
		5.0	3.3	44	

表 3.

2.1 TPS54325(コンバータ・タイプ)

$V_{in} = 12V$ 、 $V_O = 1.05V$ 、 $I_O = 1A$: $L = 1.5\mu H$ 、 $C_{OUT} = 22\mu F \times 2$ (セラミック)、 $700kHz$

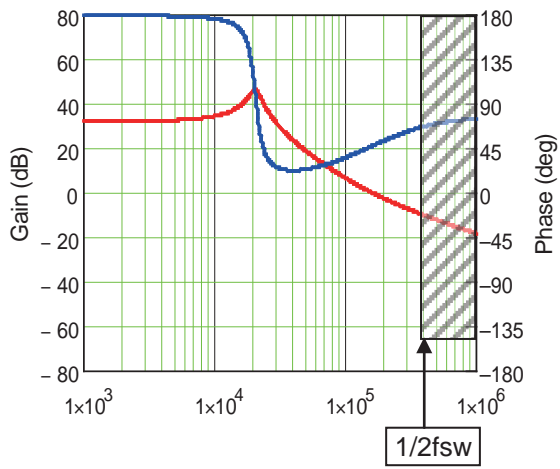


図 9. 計算結果

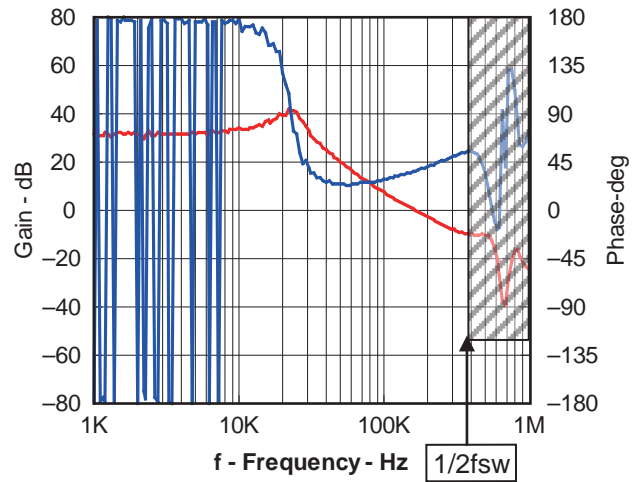


図 10. 測定結果

$V_{in} = 12V$ 、 $V_O = 3.3V$ 、 $I_O = 1A$: $L = 2.2\mu H$ 、 $C_{OUT} = 22\mu F \times 2$ (セラミック)、 $f_{sw} = 700kHz$

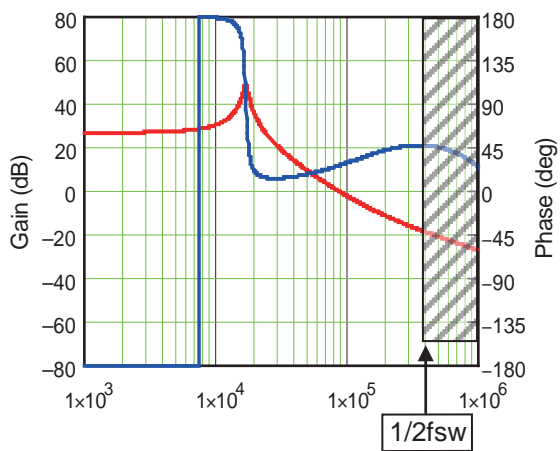


図 11. 計算結果

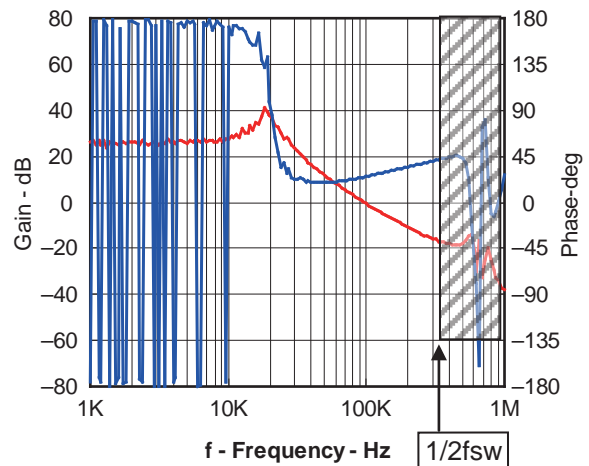


図 12. 測定結果

$V_{in} = 12V$ 、 $V_O = 5V$ 、 $I_O = 1A$: $L = 3.3\mu H$ 、 $C_{OUT} = 22\mu F \times 2$ (セラミック)、 $f_{sw} = 700kHz$

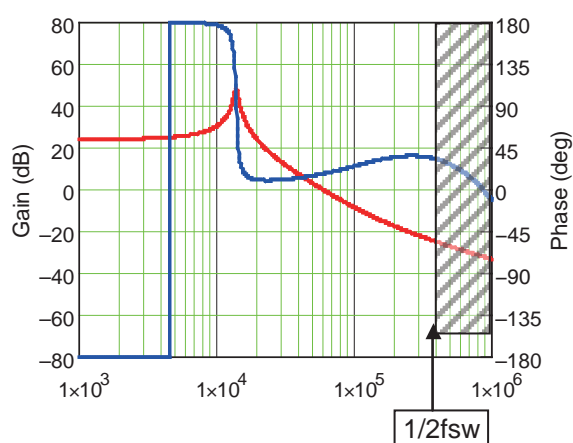


図 13. 計算結果

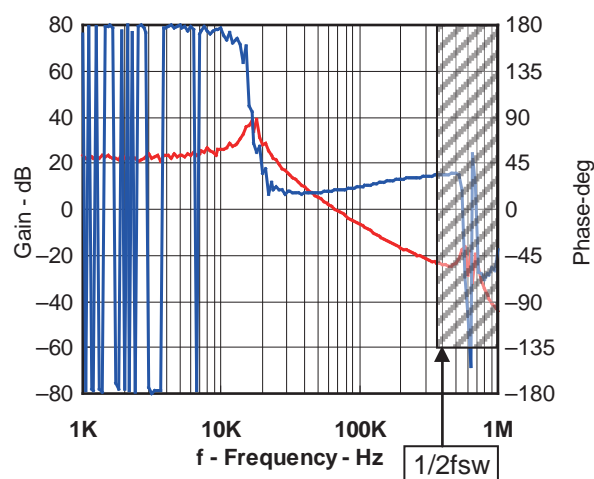


図 14. 測定結果

2.2 TPS53114(コントローラ)

$V_{in} = 12V$ 、 $V_O = 1.2V$ 、 $I_O = 2A$: $L = 1.5\mu H$ 、 $C_{OUT} = 22\mu F \times 2$ (セラミック)、 $f_{sw} = 700kHz$

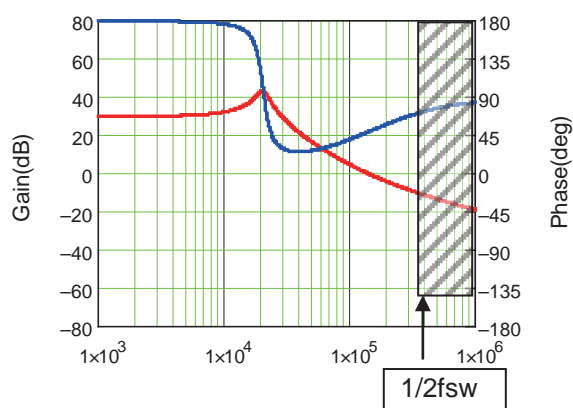


図 15. 計算結果

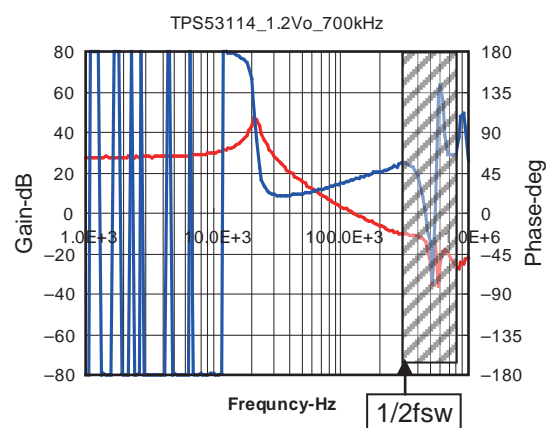


図 16. 測定結果

$V_{in} = 12V$ 、 $V_O = 5V$ 、 $I_O = 2A$: $L = 3.3\mu H$ 、 $C_{OUT} = 22\mu F \times 2$ (セラミック)、 $f_{sw} = 700kHz$

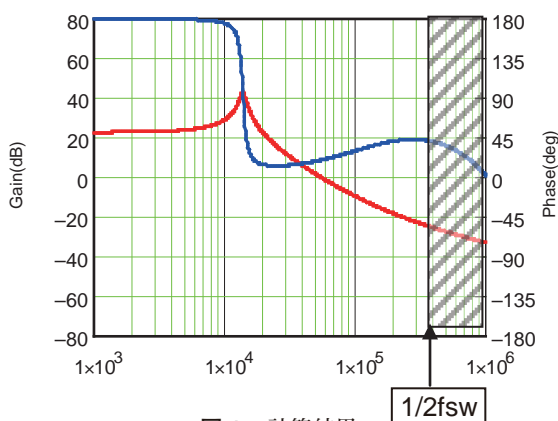


図 17. 計算結果

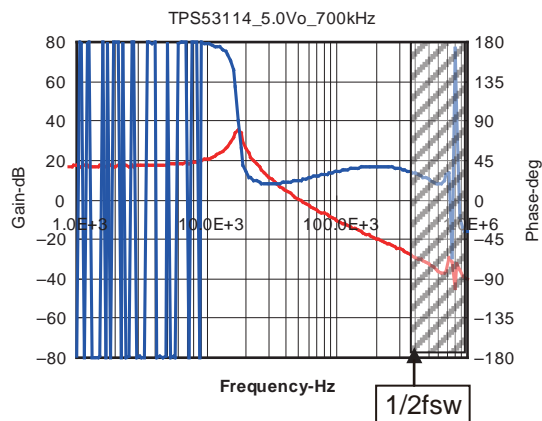


図 18. 測定結果

2.3 フィードフォワード・コンデンサによる位相補償手法 (1ポール-1ゼロのHFB(s))

式 (2) に示されるように、固定オン時間による遅延係数 $e^{-sT_{on}/2}$ が存在します。そのため、デューティ比が高い場合には ($12 V_{in}/5 V_o$ 、または $5 V_{in}/3.3 V_o$ など)、遅延係数 $e^{-sT_{on}/2}$ による位相曲線のロールオフが顕著になります。

この例では、 $H_{FB}(s)$ 回路にフィードフォワード・コンデンサ (図5の C_1) を使用し、次の式で1ポール-1ゼロとすることにより、十分な位相マージンを得ることができます。

$$H_{FB}(s) = \frac{R_2}{Z_1(s) + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_p}} \quad (23)$$

ここで、 $H_{FB}(s)$ のゼロ (ω_z)、ポール (ω_p)、および中心周波数 (ω_{center}) は、それぞれ次のように表されます。

$$\omega_z = \frac{1}{C_1 R_1}, \quad \omega_p = \frac{1}{C_1 (R_1 // R_2)}, \quad \omega_{center} = \sqrt{\omega_z \omega_p} \quad (24)$$

$f_{center} (= \omega_{center}/2\pi)$ は、最も位相が増幅される周波数です。通常、フィードフォワード・コンデンサを使用した $H_{FB}(s)$ の設計では、 f_{center} を f_{bw} 、または $f_z (= \omega_z/2\pi)$ を f_{bw} 、あるいはその中間に配置します。これは場合によって異なります。

図19は、 $V_{in} = 12V$ および $V_{OUT} = 5V$ のときの $H_{FB}(s)$ の例を示します。図19(a)は、フィードフォワード・コンデンサを使用しない場合です ($C1 = 0pF$)。図19(b)は、 $C1 = 47pF$ を使用して $H_{FB}(s)$ を1ポール-1ゼロとした場合です。ゼロ(f_z)は27.8kHz、ポール(f_p)は182kHzです。したがって、最大の位相増幅は約71kHz($= f_{center}$)で得られます。

図20は、フィードフォワード・コンデンサを使用しない場合および使用した場合の、TPS54325のボード線図(開ループ伝達関数)の計算例を示します。ループ帯域幅(70kHz)付近で位相マージンが向上していることがわかります。ここで、 $L = 3.3\mu H$ 、 $C_o = 22\mu F \times 2$ 、 $f_{sw} = 700kHz$ です。

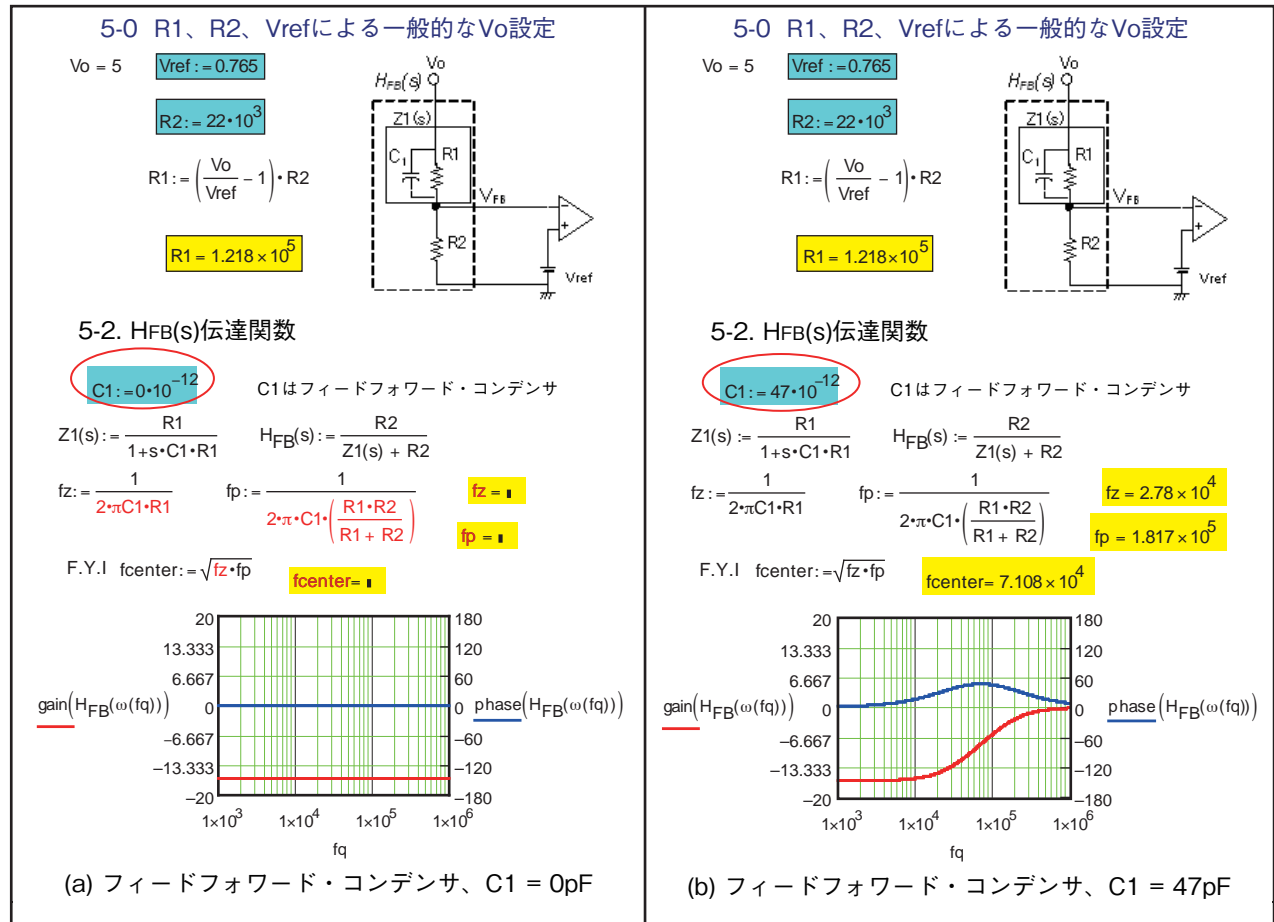


図 19. フィードフォワード・コンデンサを使用した1ポール-1ゼロの設計(12 Vin、5 V_O)

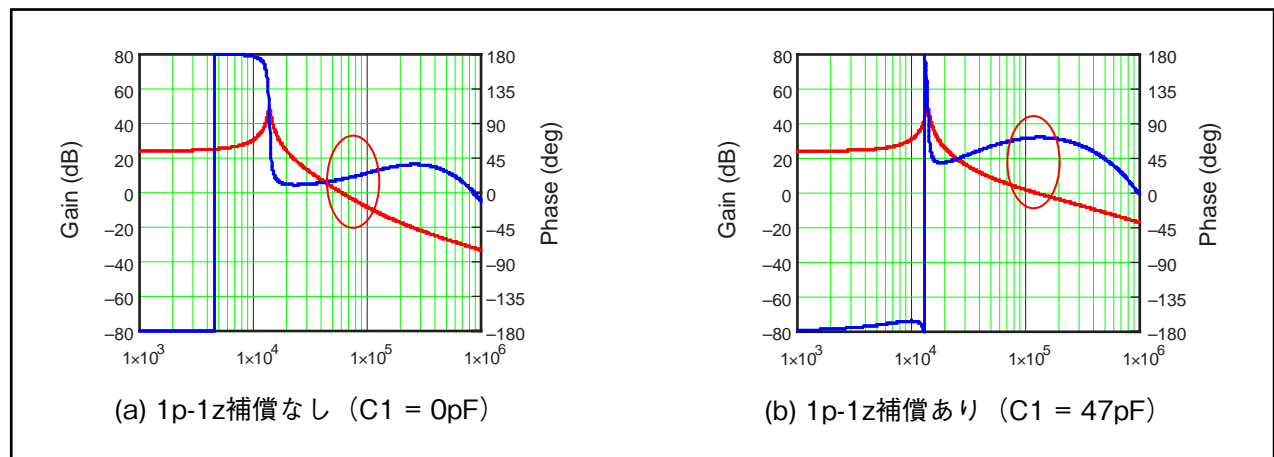


図 20. TPS54325のボード線図(開ループ伝達関数)の計算(12 Vin、5 V_O)

図20の結果を検証するために、各種のフィードフォワード・コンデンサによるボード線図の測定結果を図21に示します (C_f = フィードフォワード・コンデンサ)。HFB(s)の1ポール-1ゼロによって予測されるとおり、フィードフォワード・コンデンサによって十分な位相マージンが得られることがわかります。

参考文献

- [1] M. Lin, T. Zaitso, T. Sato, and T. Nabeshima, "Frequency Domain Analysis of Fixed On-Time with Bottom Detection Control for Buck Converter," IEEE IECON2010, pp.475-479
- [2] B.P.Schweizer and A.B.Rosenstein, "Free Running - Switching Mode Regulator: Analysis and Design," IEEE Transactions on Aerospace, vol. AS-2, Oct. 1964, pp.1171-1180.
- [3] R. Miftakhutdinov, "An Analytical Comparison of Alternative Control technique for powering Next-Generation Microprocessors," Texas Instruments Seminar 2002.
- [4] Kisun Lee, Fred C. Lee and Ming Xu, "Novel Hysteretic Control Method for Multiphase Voltage Regulators," APEC2008.
- [5] T. Nabeshima, T. Sato, S. Yoshida, S. Chiba and K. Onda, "Analysis and design consideration of a buck converter with a hysteretic PWM controller," IEEE PESC Records, pp.1711-1716, 2004
- [6] K. Taniguchi, T. Sato, T. Nabeshima, and K. Nishijima, "Constant Frequency Hysteretic PWM Controlled Buck Converter", Proceedings of IEEE PEDS 2009, Paper No.476, CD-ROM, 2009

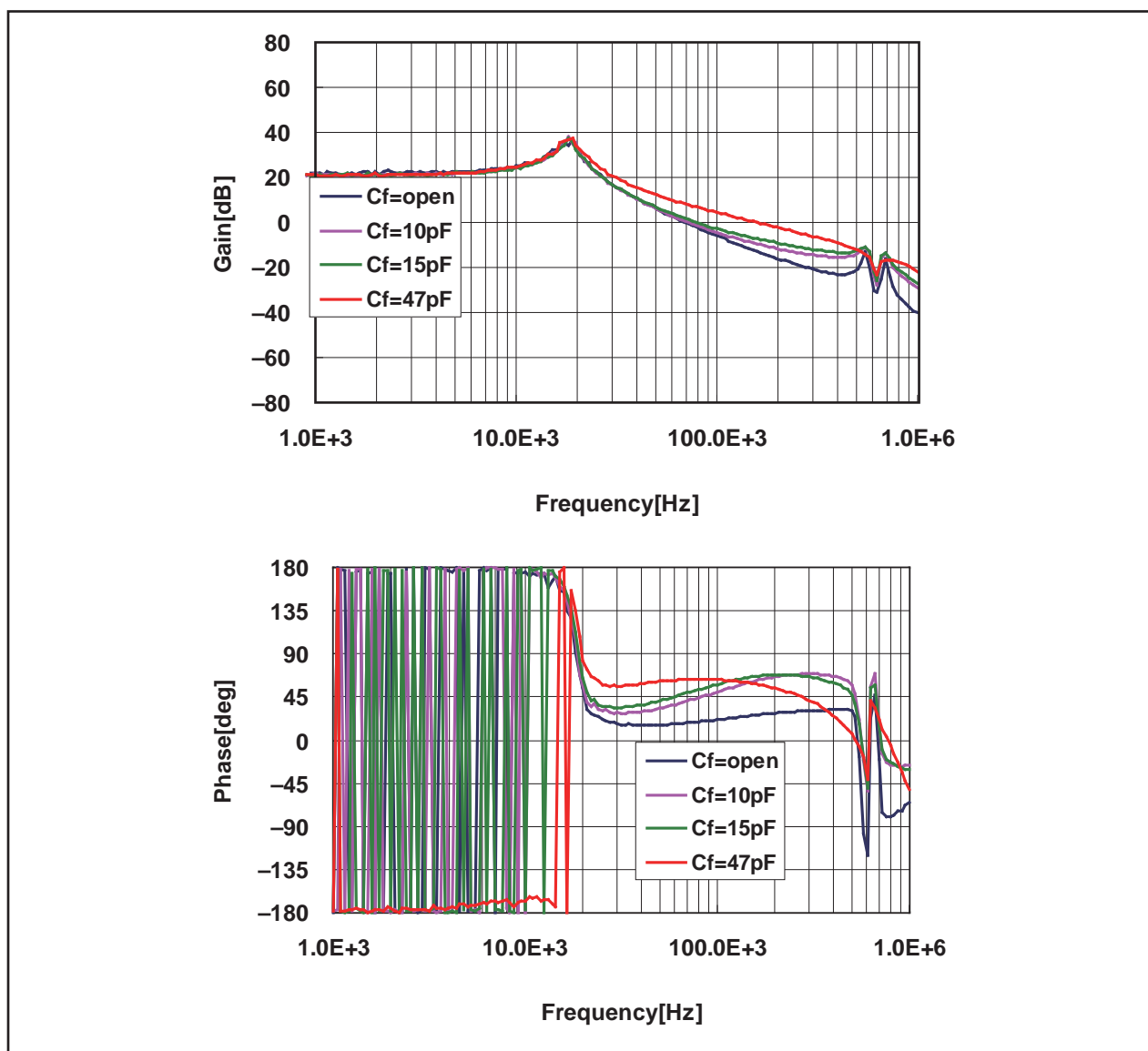


図 21. TPS54325のボード線図(開ループ伝達関数)の測定結果(12 V_{in} , 5 V_O)

付録A.

A.1 ヒステリシス制御にリップル注入を使用したヒステリシス・コンパレータの伝達関数の導出方法

これは、論文[1]の付録です。

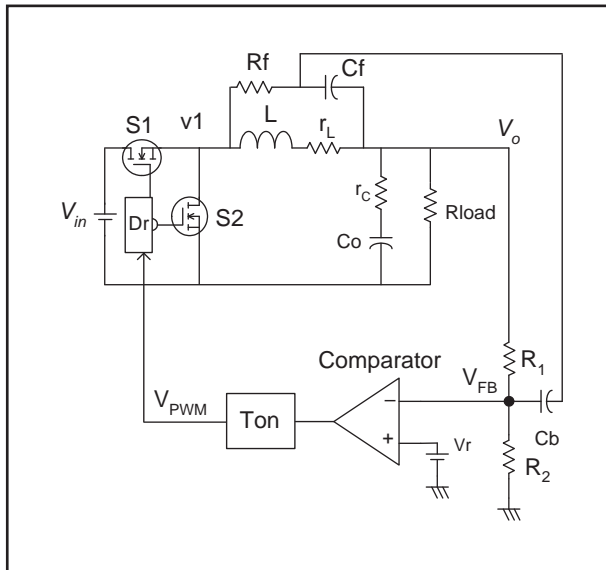


図 A-1. リップル注入を使用したヒステリシス制御 (ボトム検出による固定オン時間) のブロック図

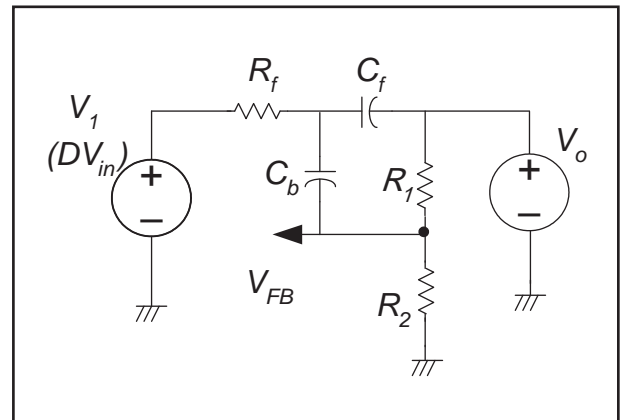


図 A-2. 図A-1の等価回路

図A-2には、2つの電圧 $V_1 (= DV_{in})$ および V_0 があります。重ね合わせの原理を使用して、伝達関数を導きます。

A.2 $V_0 = 0$ の場合 (V_0 短絡)

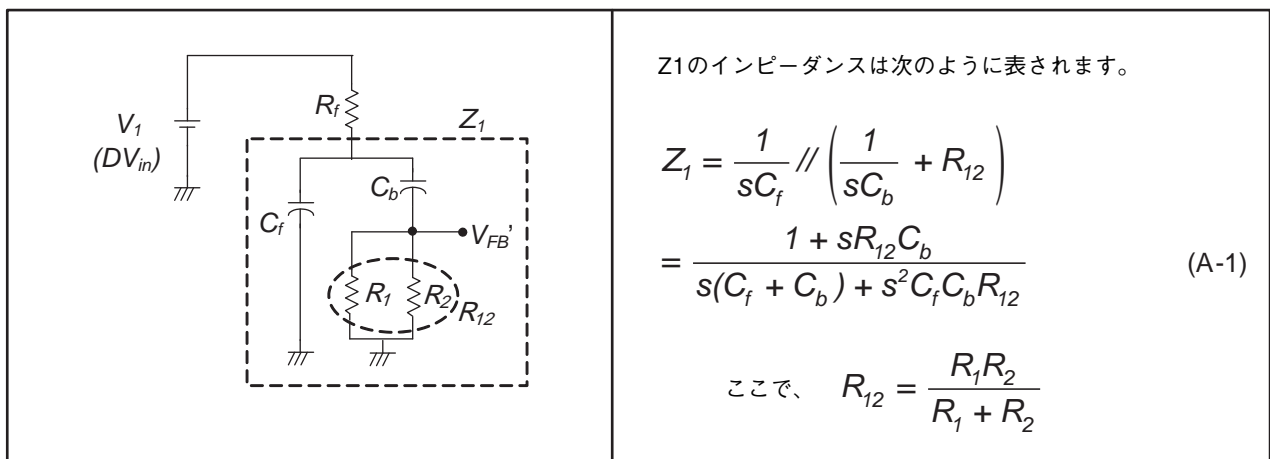


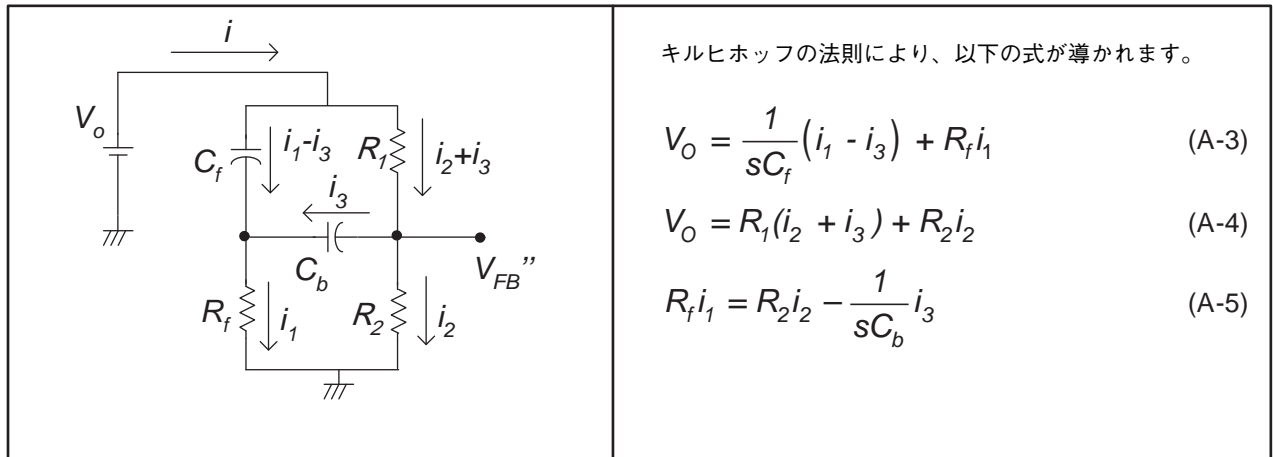
図 A-3. $V_0 = 0$ のときの図A-2の等価回路

式 (A-1) を用いて、 V_{FB}' は $D \times V_{in}$ により次のように表されます。

$$V_{FB}' = DV_{in} \times \frac{Z_1}{R_f + Z_1} \times \frac{R_{12}}{\frac{1}{sC_b} + R_{12}} = \frac{sC_bR_{12}}{s^2T_cC_bR_{12} + sC_bR_{12} + sR_f(C_f + C_b) + 1} \times DV_{in} \quad (A-2)$$

ここで

$$T_c = C_fR_f$$

A.3 $V_1 = 0$ の場合 (V_1 短絡)図 A-4. $V_1 = 0$ のときの図A-2の等価回路

式 (A-3) および (A-5) から i_1 を消去することで、 i_3 が求められます。

$$i_3 = \frac{1}{\frac{R_f}{1 + sC_f R_f} + \frac{1}{sC_b}} \times \left(R_2 i_2 - \frac{R_f}{R_f + \frac{1}{sC_f}} \times V_0 \right) \quad (A-6)$$

式 (A-4) および (A-6) から i_3 を消去することで、 i_2 が求められます。

$$i_2 = \frac{\left(\frac{R_f}{1 + sC_f R_f} + \frac{1}{sC_b} \right) \times \frac{1}{R_1} + \frac{sC_f R_f}{1 + sC_f R_f} V_0}{R_2 + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times \left(\frac{R_f}{1 + sC_f R_f} + \frac{1}{sC_b} \right)} \quad (A-7)$$

したがって、 V_{FB}' が次のように求められます。

$$V_{FB}' = R_2 i_2 = \frac{\left(\frac{R_f}{1 + sC_f R_f} + \frac{1}{sC_b} \right) \cdot \frac{1}{R_1} + \frac{sC_f R_f}{1 + sC_f R_f} V_0}{1 + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \cdot \left(\frac{R_f}{1 + sC_f R_f} + \frac{1}{sC_b} \right)} V_0 = \frac{s^2 \cdot T_C C_b R_1 R_2 + s \cdot R_2 (T_C + R_f C_b) + R_2}{s^2 \cdot T_C C_b R_1 R_2 + s \{ C_b R_1 R_2 + (R_1 + R_2) (T_C + R_f C_b) \} + (R_1 + R_2)} \cdot V_0 \quad (A-8)$$

重ね合わせの原理から、

$$V_{FB} = V_{FB}' + V_{FB}'' = \frac{sC_b R_{12}}{s^2 T_C C_b R_{12} + sC_b R_{12} + sR_f (C_f + C_b) + 1} \times DV_{in} + \frac{s^2 \times T_C C_b R_1 R_2 + s \times R_2 (T_C + R_f C_b) + R_2}{s^2 \times T_C C_b R_1 R_2 + s \{ C_b R_1 R_2 + (R_1 + R_2) (T_C + R_f C_b) \} + (R_1 + R_2)} \times V_0 \quad (A-9)$$

ここで、リップル電圧 ΔV_{FB} は V_{FB} と比較して十分に小さいため、以下のように仮定できます。

$$V_{FB} = V_r \quad (A-10)$$

式(A-9)は、次のように簡単に表すことができます。これは定常状態の解です。

$$V_{FB} = V_r = G_1(s)DV_{in} + G_2(s)V_O \quad (A-11)$$

ここで、

$$G_1(s) = \frac{sC_b R_{12}}{s^2 T_C C_b R_{12} + sC_b R_{12} + sR_f(C_f + C_b) + 1}$$

$$G_2(s) = \frac{s^2 \times T_C C_b R_1 R_2 + s \times R_2 (T_C + R_f C_b) + R_2}{s^2 \times T_C C_b R_1 R_2 + s \{ C_b R_1 R_2 + (R_1 + R_2) (T_C + R_f C_b) \} + (R_1 + R_2)}$$

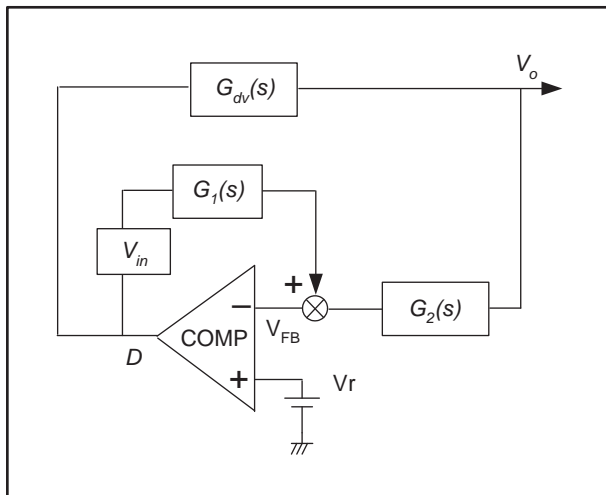


図 A-5. 式(A-11)の制御ブロック図
($G_{dv}(s)$ はDから V_O への既知のプラント伝達関数)

A.4 ΔV_o から ΔD への伝達関数 (小信号動的特性分析)

既知の「小信号動的特性分析」により、 $D \rightarrow D + \Delta D$ 、 $V_O \rightarrow V_O + \Delta V_O$ と仮定して、 ΔV_O から ΔD への伝達関数を求めます。式(A-11)は、次のように表すことができます。

$$V_r = G_1(s)(D + \Delta D)V_{in} + G_2(s)(V_O + \Delta V_O) \quad (A-12)$$

式(A-11)を定常状態の解として式(A-12)に代入すると、式(A-13)が得られます。

$$\begin{aligned} \frac{\Delta D}{\Delta V_O} &= -\frac{G_2(s)}{G_1(s)} \times \frac{1}{V_{in}} = -\frac{s^2 \times T_C C_b R_1 R_2 + s \times R_2 (T_C + R_f C_b) + R_2}{s^2 \times T_C C_b R_1 R_2 + s \{C_b R_1 R_2 + (R_1 + R_2)(T_C + R_f C_b)\} + (R_1 + R_2)} \times \frac{1}{V_{in}} \\ &= -\frac{s^2 T_C C_b R_1 + s(T_C + R_f C_b) + 1}{s R_1 C_b} \times \frac{1}{V_{in}} \end{aligned} \quad (A-13)$$

最後に、 $C_b = \infty$ とすると、コンパレータ伝達関数の単純化された式が次のように導かれます。

$$\frac{\Delta D}{\Delta V_O} = -\frac{R_f}{R_1 V_{in}} (1 + s R_1 C_f) \quad (A-14)$$

ご注意

Texas Instruments Incorporated 及びその関連会社 (以下総称して TI といいます) は、最新の JESD46 に従いその半導体製品及びサービスを修正し、改善、改良、その他の変更をし、又は最新の JESD48 に従い製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての半導体製品は、ご注文の受諾の際に提示される TI の標準販売契約約款に従って販売されます。

TI は、その製品が、半導体製品に関する TI の標準販売契約約款に記載された保証条件に従い、販売時の仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査及びその他の品質管理技法は、TI が当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、適用される法令によってそれ等の実行が義務づけられている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TI は、製品のアプリケーションに関する支援又はお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI 製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI 製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションに関連する危険を最小のものとするため、適切な設計上及び操作上の安全対策は、お客様にてお取り下さい。

TI は、TI の製品又はサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、又は方法に関連している TI の特許権、著作権、回路配置利用権、その他の TI の知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TI が第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TI が当該製品又はサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証又は是認するということを含みません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない、又は TI の特許その他の知的財産権に基づき TI からライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TI のデータ・ブック又はデータ・シートの中にある情報の重要な部分の複製は、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と関連する全ての保証、条件、制限及び通知と共になされる限りにおいてのみ許されるものとします。TI は、変更が加えられて文書化されたものについては一切責任を負いません。第三者の情報については、追加的な制約に服する可能性があります。

TI の製品又はサービスについて TI が提示したパラメーターと異なる、又は、それを超えてなされた説明で当該 TI 製品又はサービスを再販売することは、関連する TI 製品又はサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TI は、そのような説明については何の義務も責任も負いません。

TI からのアプリケーションに関する情報提供又は支援の一切に拘わらず、お客様は、ご自身の製品及びご自身のアプリケーションにおける TI 製品の使用に関する法的責任、規制、及び安全に関する要求事項の全てにつき、これをご自身で遵守する責任があることを認め、且つそのことに同意します。お客様は、想定される不具合がもたらす危険な結果に対する安全対策を立案し実行し、不具合及びその帰結を監視し、害を及ぼす可能性のある不具合の可能性を低減し、及び、適切な治療措置を講じるために必要な専門的知識の一切を自ら有することを表明し、保証します。お客様は、TI 製品を安全でないことが致命的となるアプリケーションに使用したことから生じる損害の一切につき、TI 及びその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI 製品につき、安全に関連するアプリケーションを促進するために特に宣伝される場合があります。そのような製品については、TI が目的とするところは、適用される機能上の安全標準及び要求事項を満たしたお客様の最終製品につき、お客様が設計及び製造ができるようお手伝いすることにあります。それにも拘わらず、当該 TI 製品については、前のパラグラフ記載の条件の適用を受けるものとします。

FDA クラス III (又は同様に安全でないことが致命的となるような医療機器) への TI 製品の使用は、TI とお客様双方の権限ある役員の間で、そのような使用を行う際について規定した特殊な契約書を締結した場合を除き、一切認められていません。

TI が軍需対応グレード品又は「強化プラスチック」製品として特に指定した製品のみが軍事用又は宇宙航空用アプリケーション、若しくは、軍事的環境又は航空宇宙環境にて使用されるように設計され、かつ使用されることを意図しています。お客様は、TI がそのように指定していない製品を軍事用又は航空宇宙用に使う場合は全てご自身の危険負担において行うこと、及び、そのような使用に関して必要とされるすべての法的要求事項及び規制上の要求事項につきご自身のみの責任により満足させることを認め、且つ同意します。

TI には、主に自動車用に使われることを目的として、ISO/TS 16949 の要求事項を満たしているとして特別に指定した製品があります。当該指定を受けていない製品については、自動車用に使われるようには設計されてもいませんし、使用されることを意図しておりません。従いまして、前記指定品以外の TI 製品が当該要求事項を満たしていなかったことについては、TI はいかなる責任も負いません。

Copyright © 2014, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位 (外装から取り出された内装及び個装) 又は製品単体で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で (導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

- 梱包品 (外装、内装、個装) 及び製品単体を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限 260℃ 以上の高温状態に、10 秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質 (硫黄、塩素等ハロゲン) のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上