

アナログ・デバイセズの 電源ICはなぜコンデンサ 容量を減らせるのか？

アナログ・デバイセズ株式会社
古川 敦彦

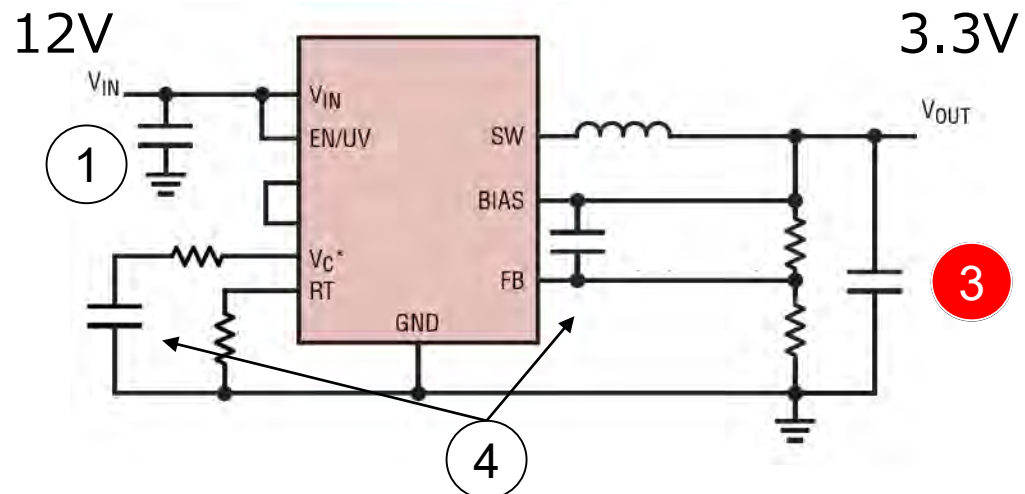


アジェンダ

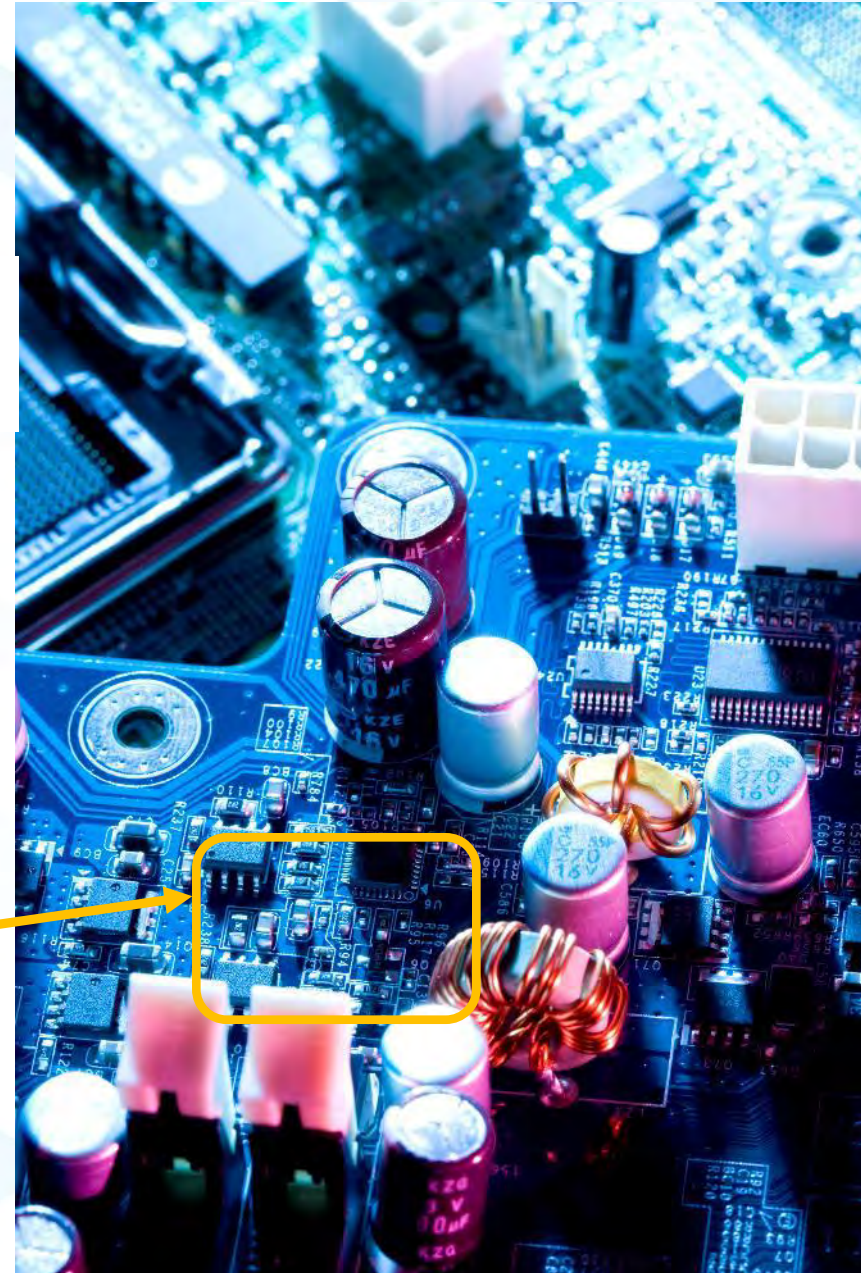
スイッチング電源に使われるコンデンサ

- 1) 入力コンデンサ
- 2) バイパスコンデンサ
- 3) 出力コンデンサ
- 4) 補償用コンデンサ

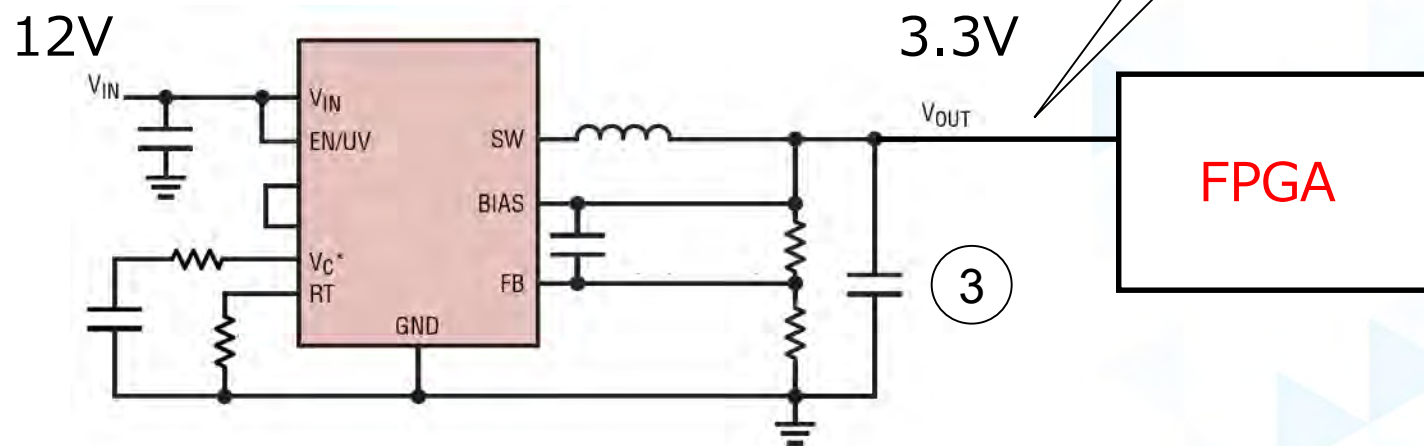
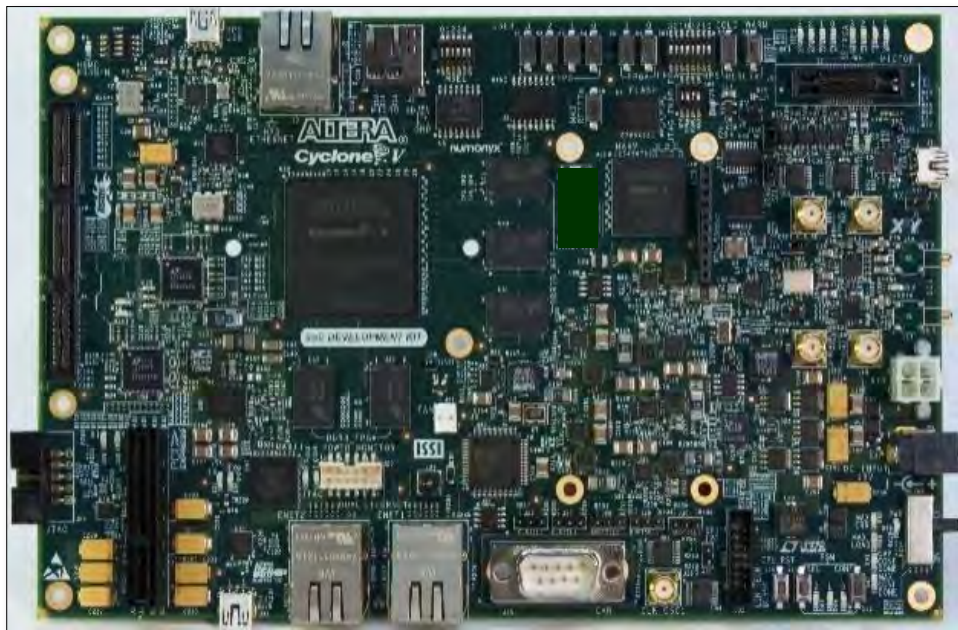
Silent Switcher®のメリット紹介



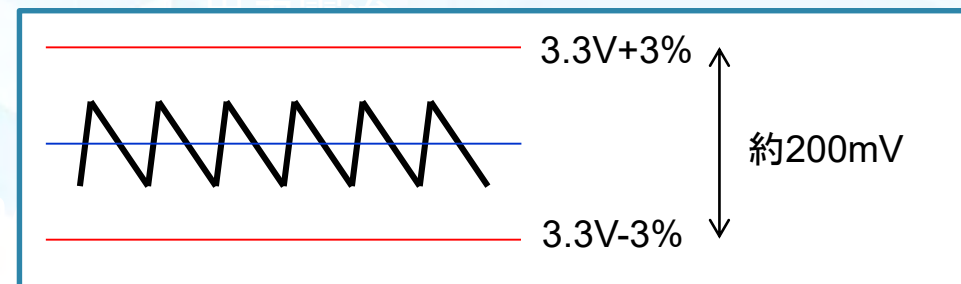
2



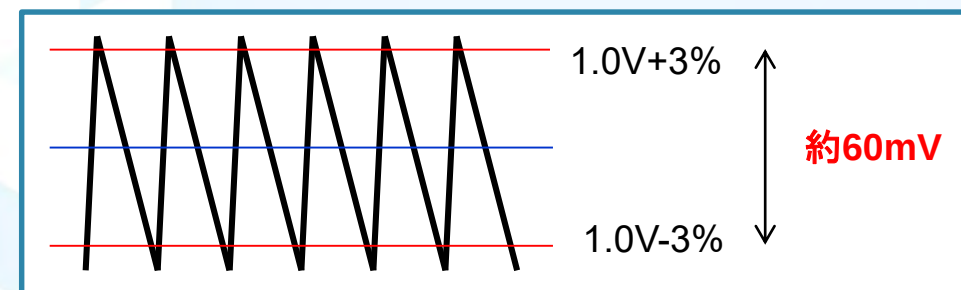
出力電圧の許容差が厳しくなっている



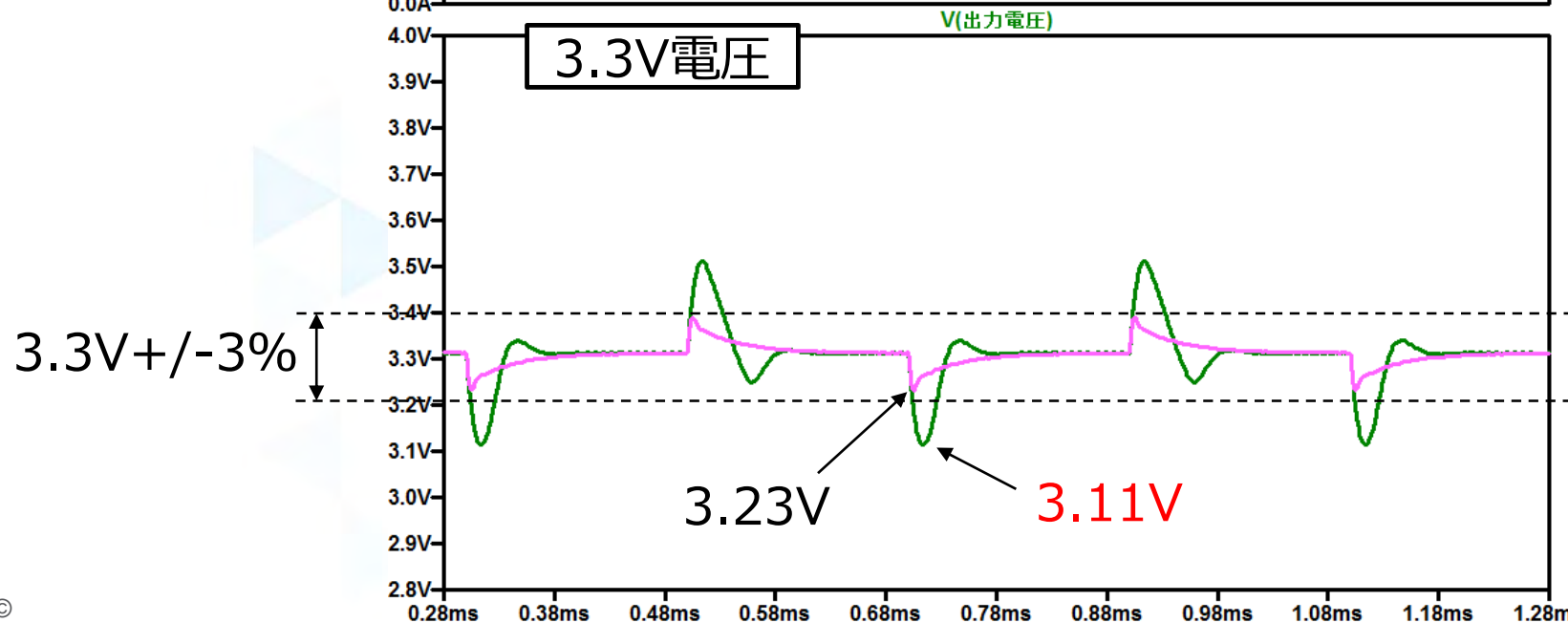
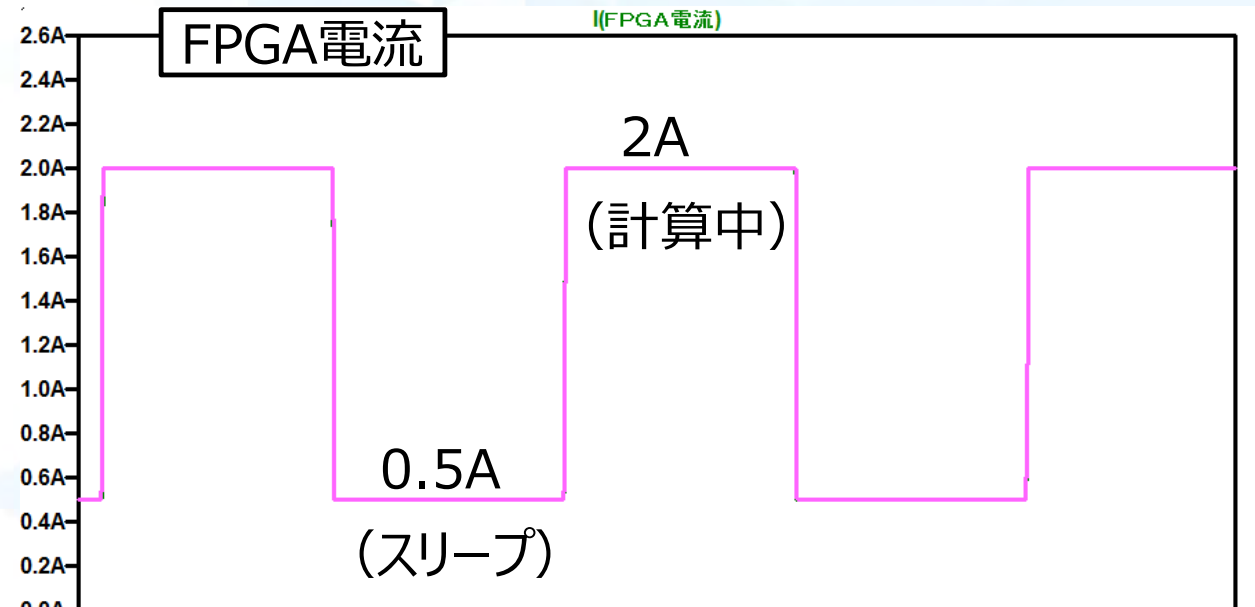
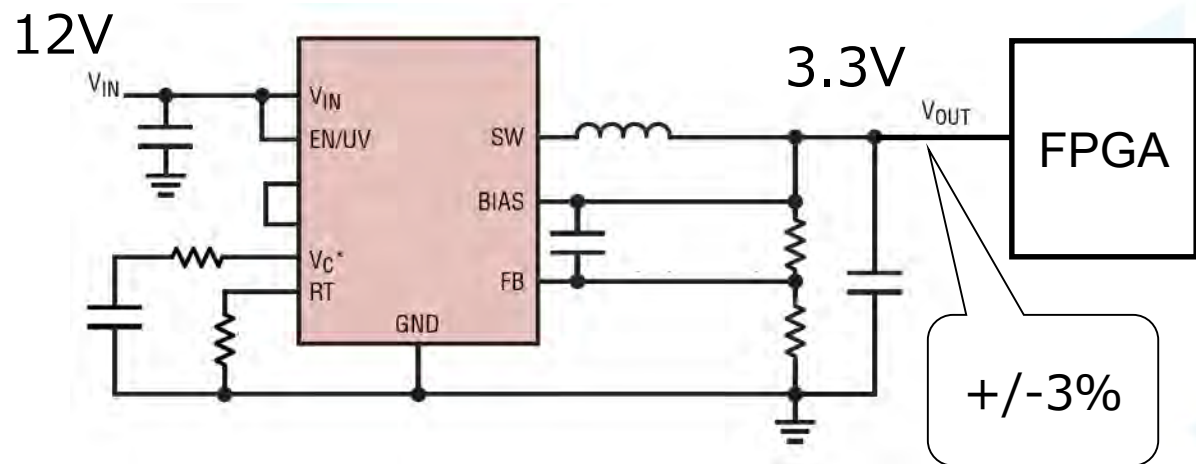
2A
CPU



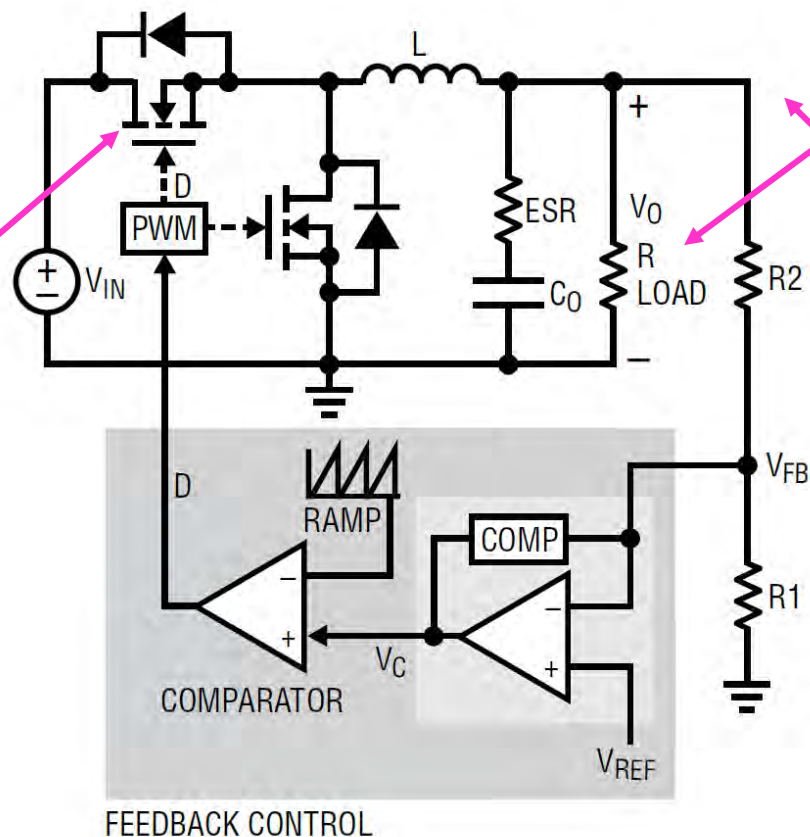
出力電圧
FPGAなど



出力電圧の許容差が厳しくなっている



電源回路も負帰還がかかっている



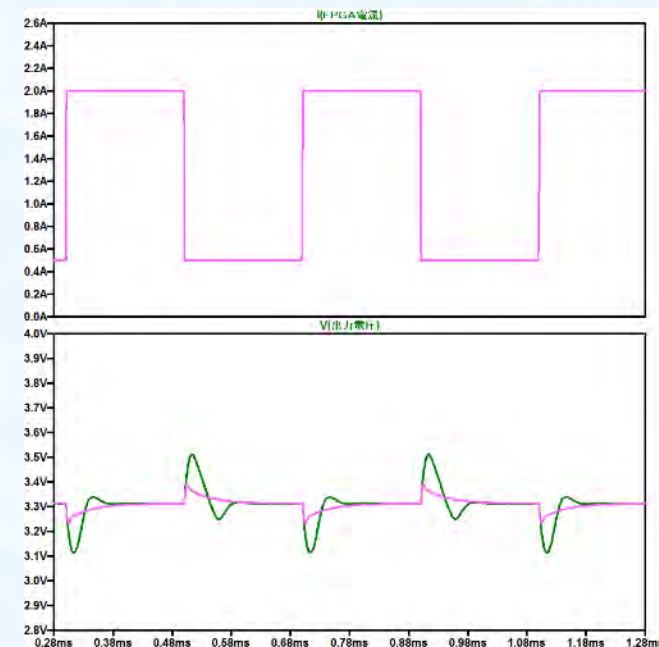
1) 負荷が重くなる (出力電流増える)

2) 出力電圧下がる

3) V_{fb} 電圧下がる

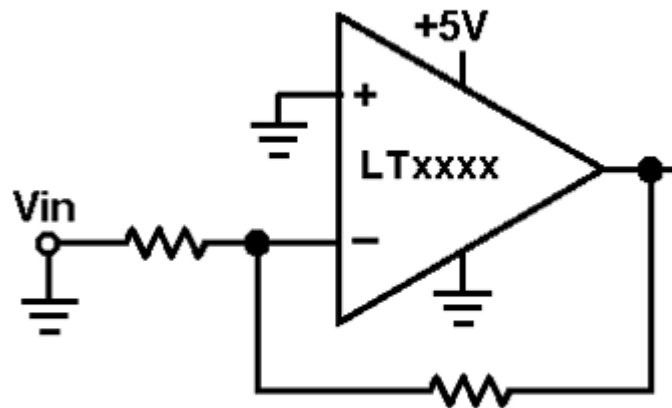
4) TOP FETのON時間が長くなる

5) 出力電圧が定常値に戻る

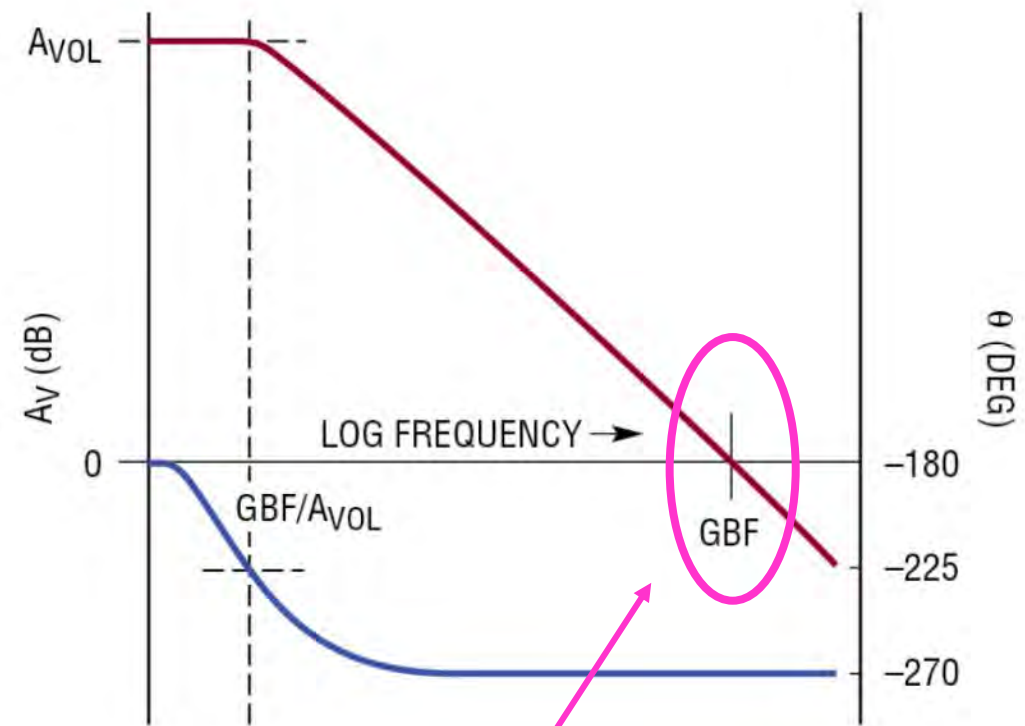


学校のおさらい (GB積)

Inverting Gain



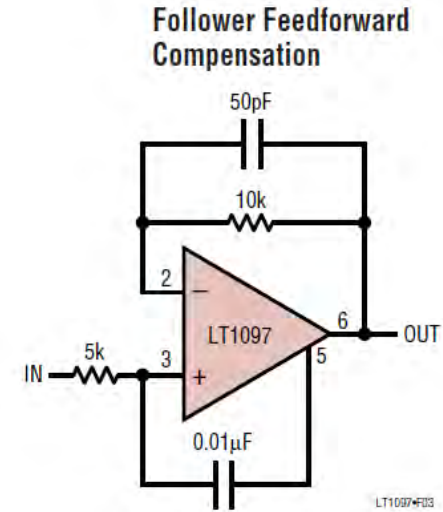
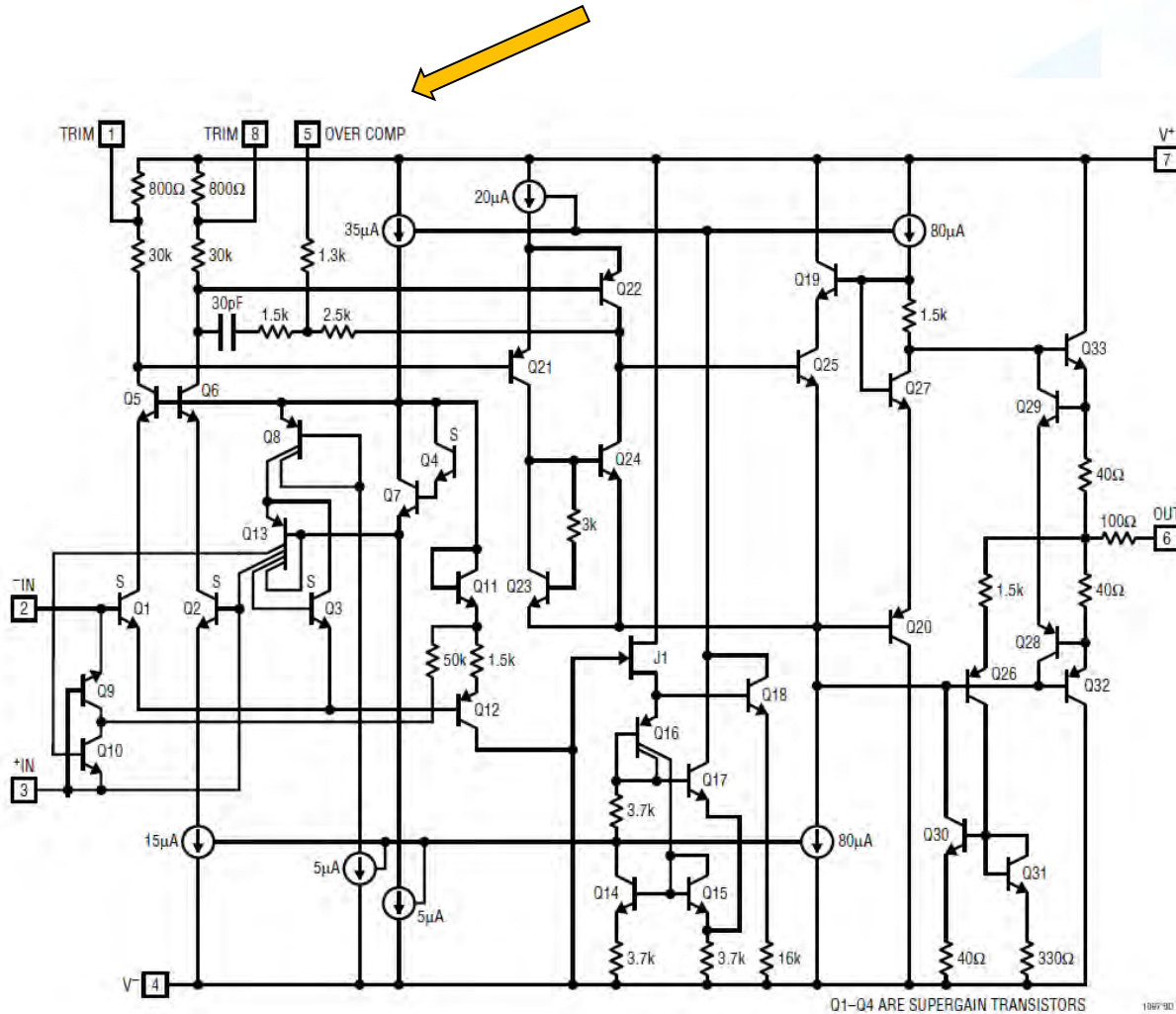
GBW Gain Bandwidth Product 700 700 kHz



これより高い周波数の信号にはついていけない

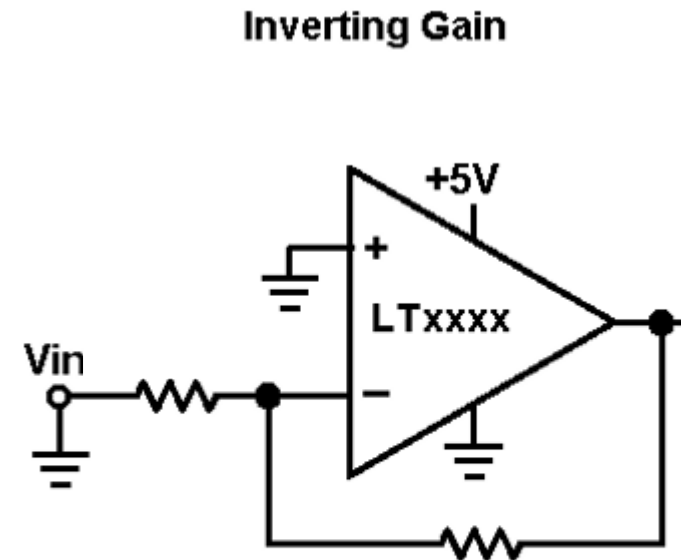
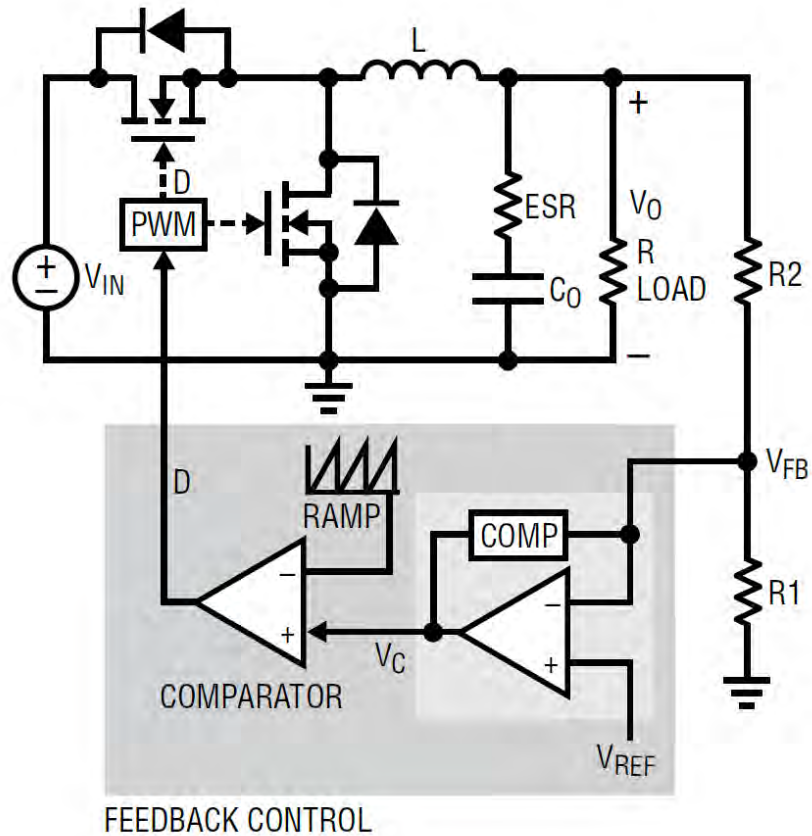
高域の減衰が-6dB/octより急しゅんになるものもあるので ユニティゲイン周波数とGB積が一致しないこともあります。

学校のおさらい（位相補償）

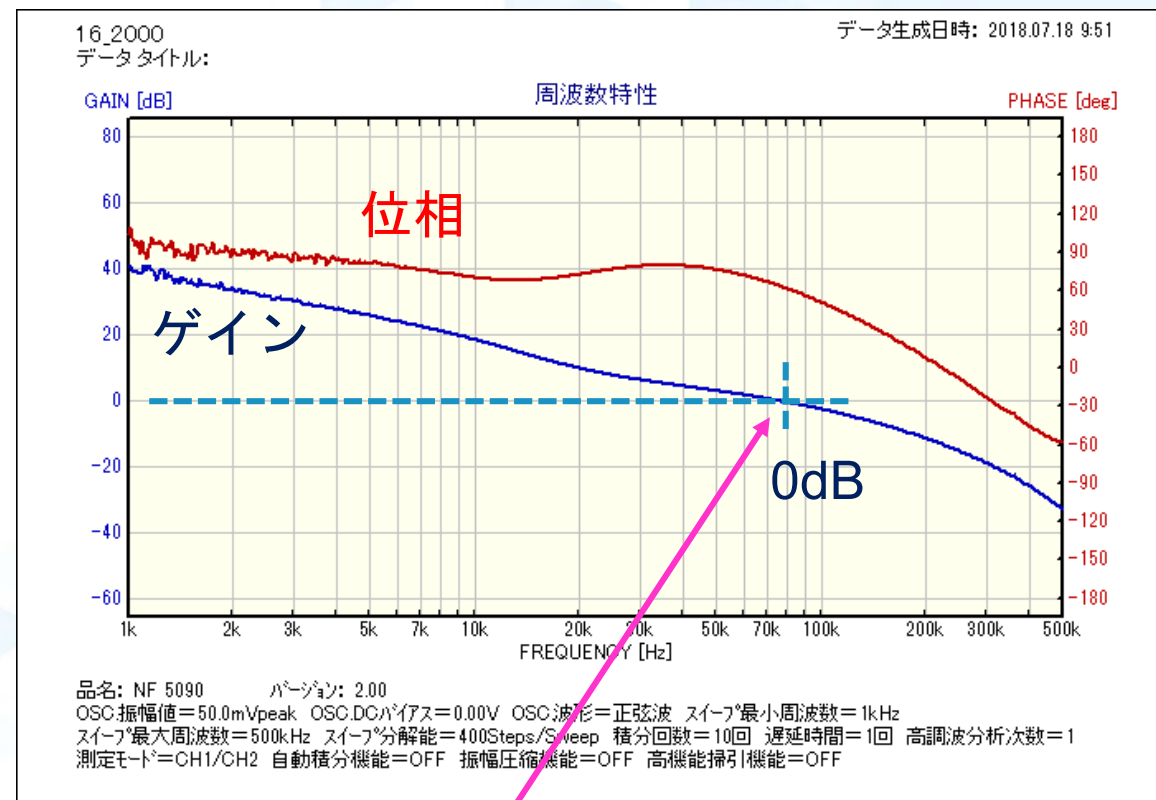
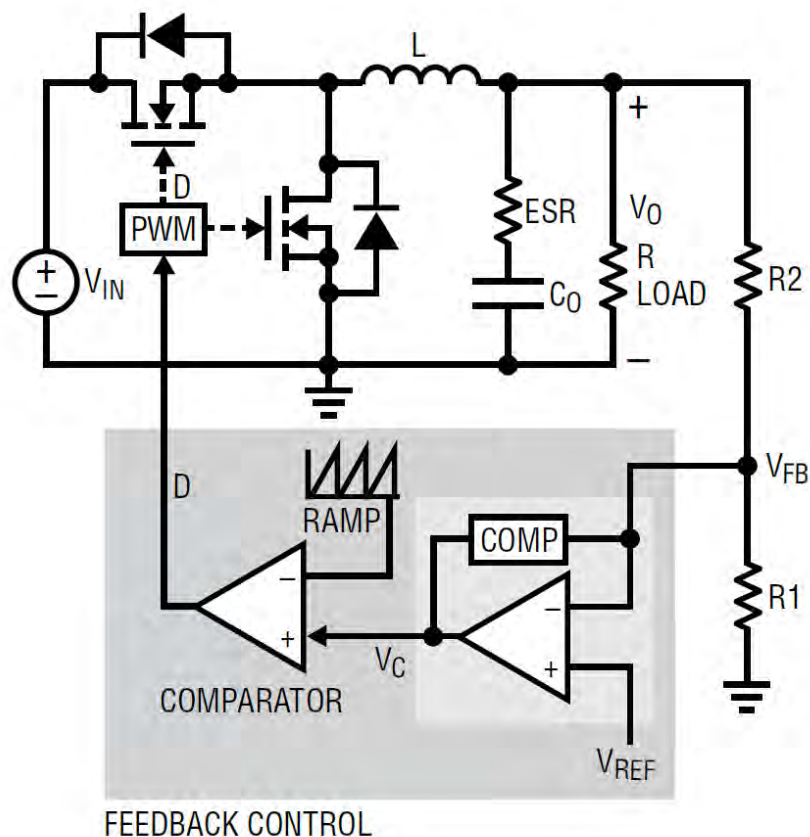


The LT1097 is internally compensated for unity gain stability. As shown on the Capacitive Load Handling plot, the LT1097 is stable with any capacitive load. However, the overcompensation capacitor, C_S , can be used to reduce overshoot with heavy capacitive loads, to narrow noise bandwidth or to stabilize circuits with gain in the feedback loop.

どちらも負帰還がかかっている

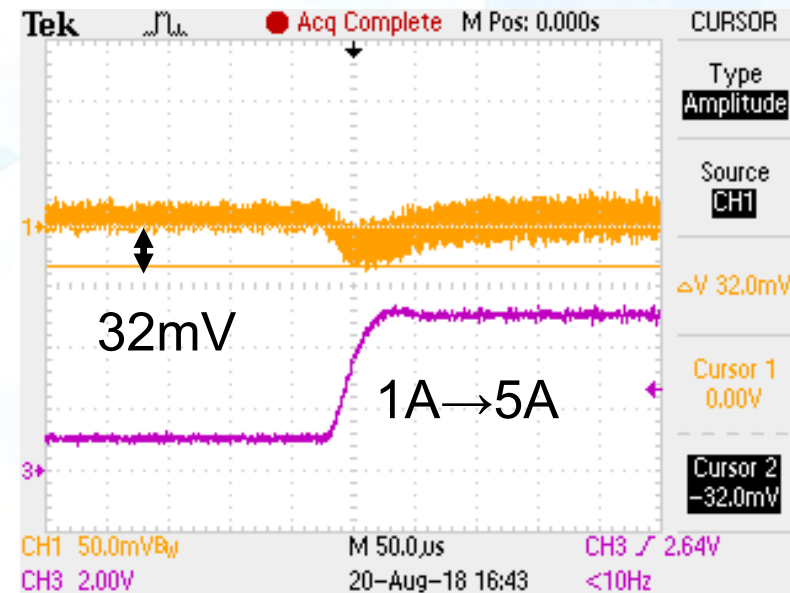
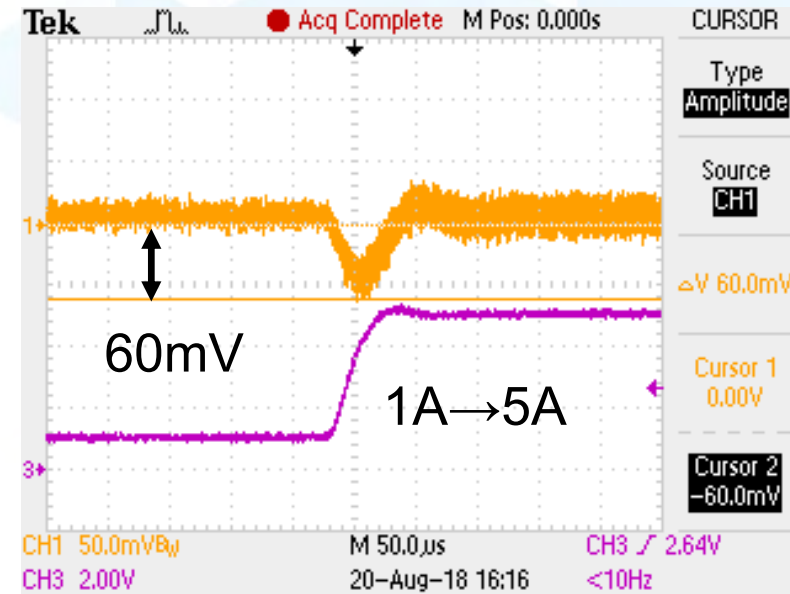
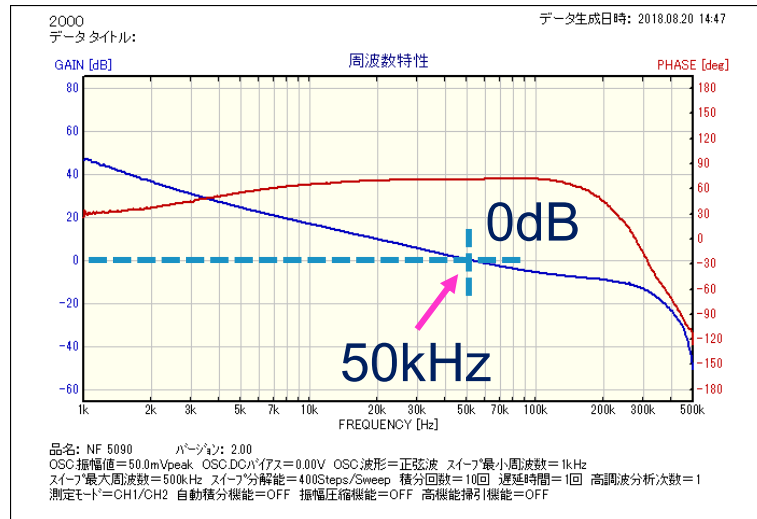
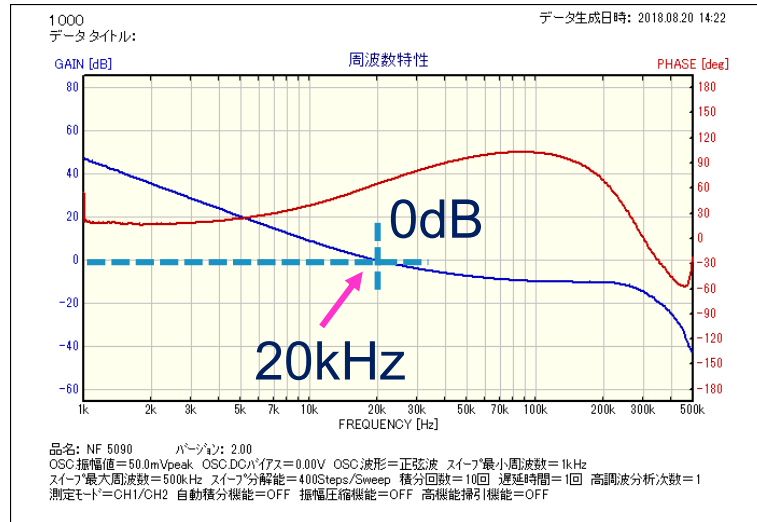


クロスオーバー周波数 (f_c) を高周波側へ！

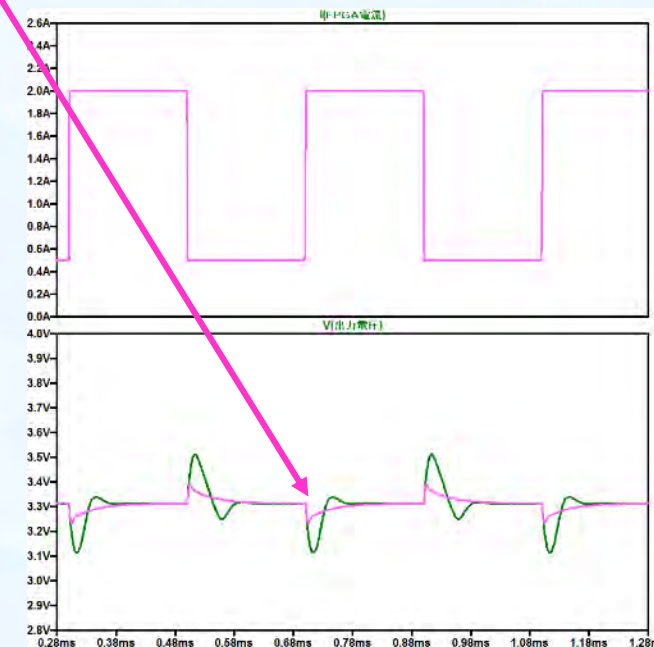
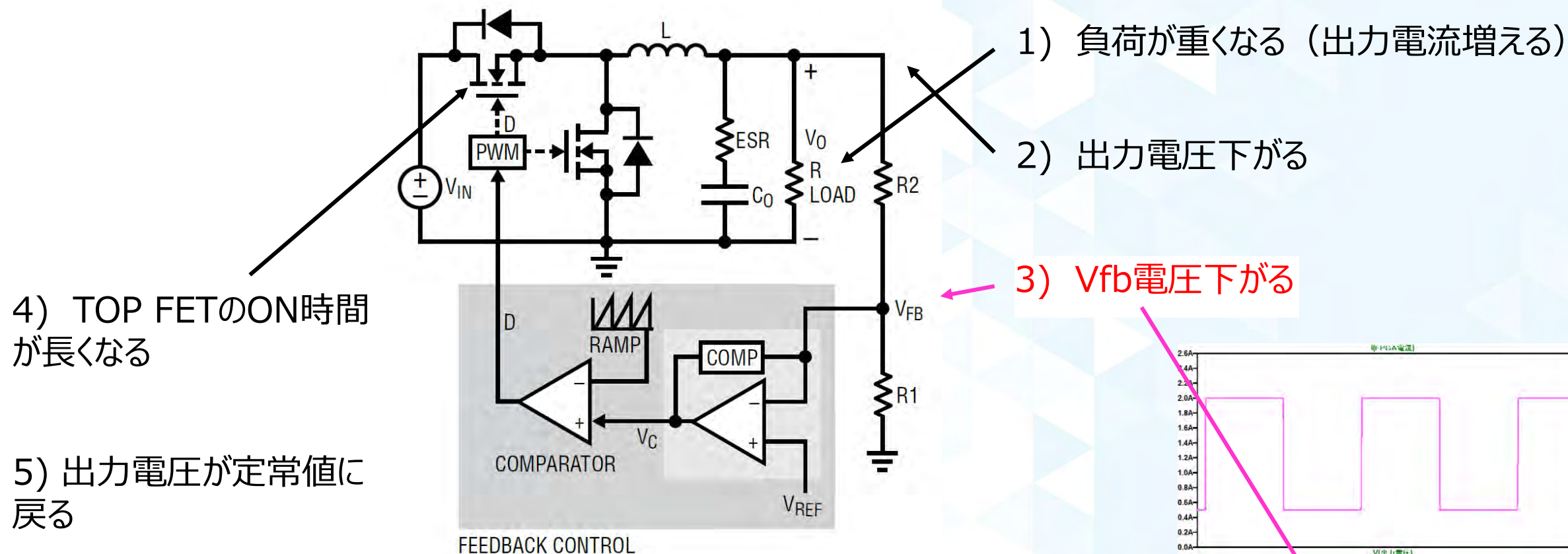


クロスオーバー周波数 f_c (ゲイン=0dB)
を高周波側にもっていきたい

f_c の違いによるドロップ電圧の違い

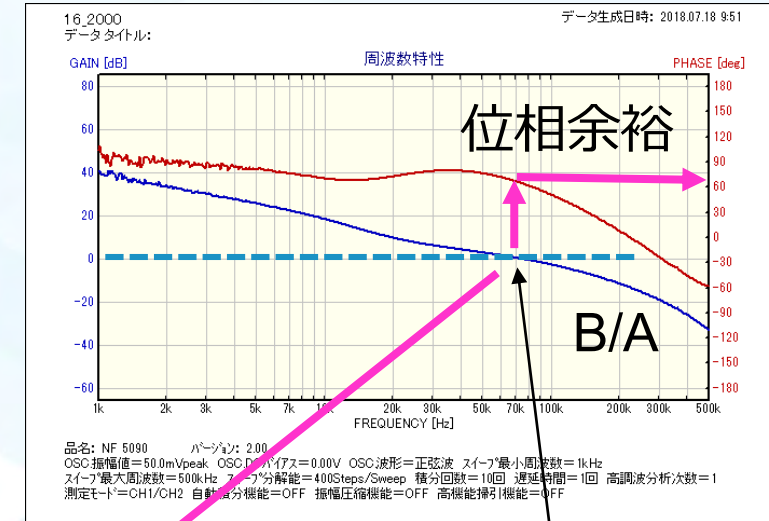
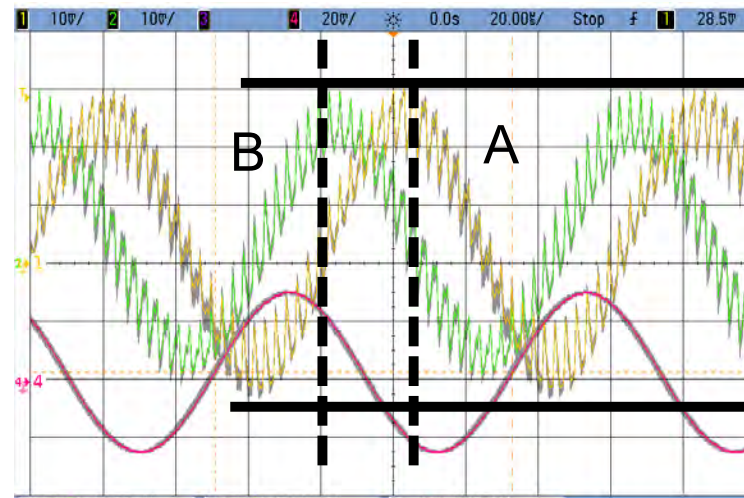
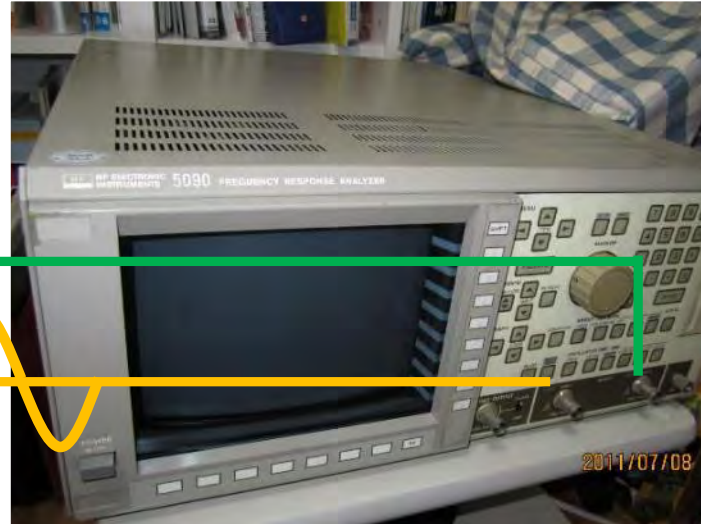
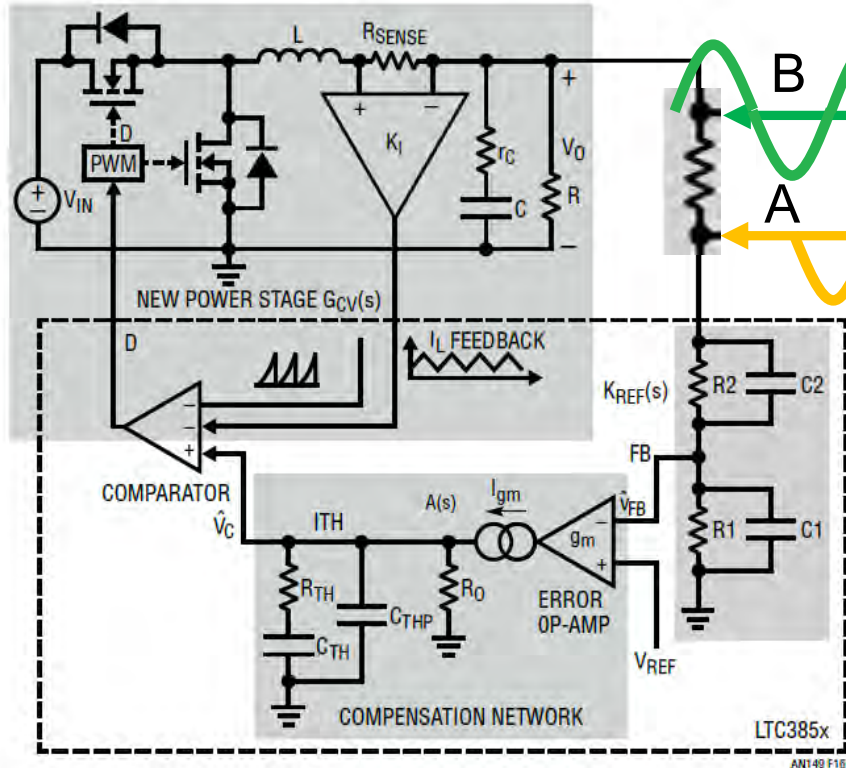


電源回路も負帰還がかかっている



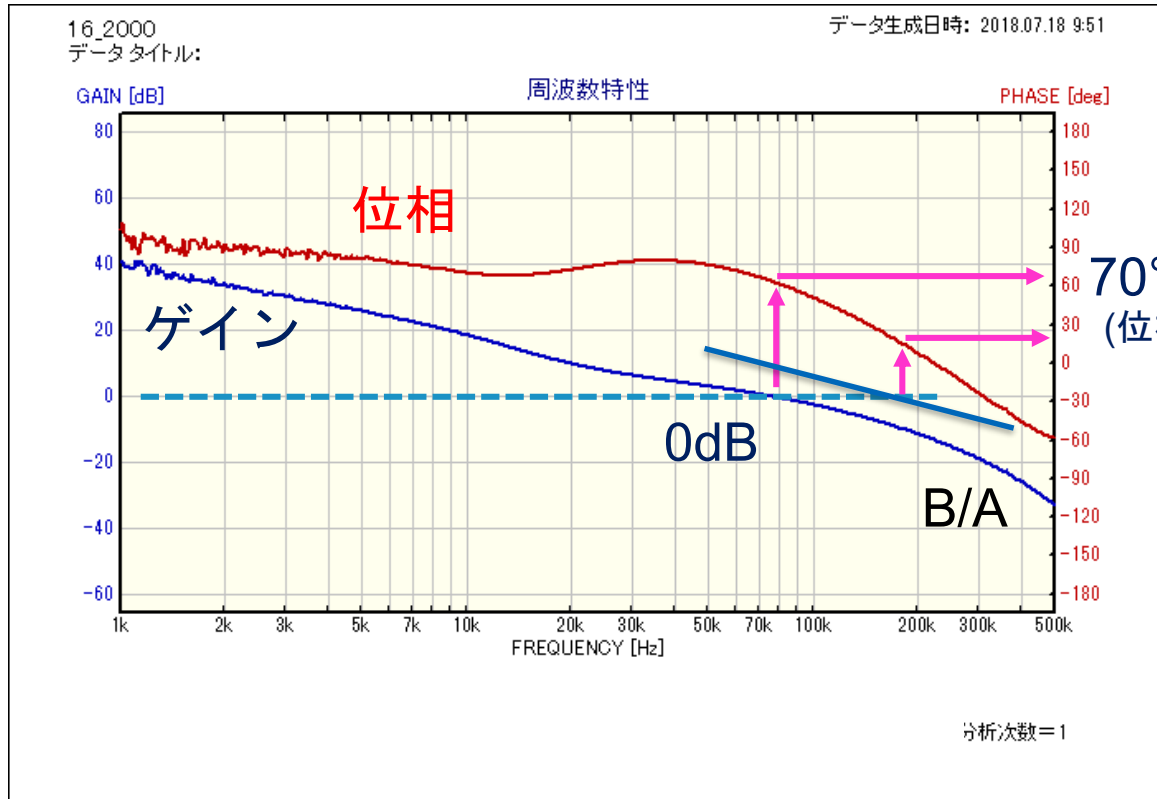
学校のおさらい（位相補償）

FRA ※実際はOSCからの信号線も接続が必要



クロスオーバー周波数
(ゲイン=0dB)

f_c を高周波側にもっていくときの制限（その1）



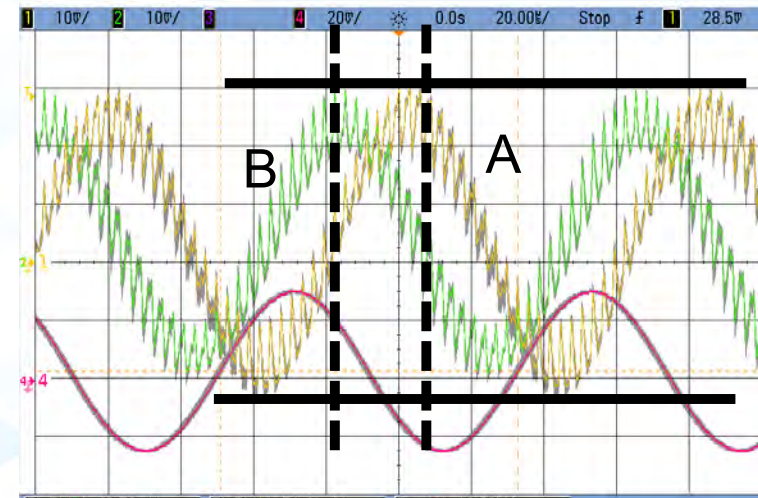
LT8609Aを2MHz設定にして測定

1) 位相余裕の確保

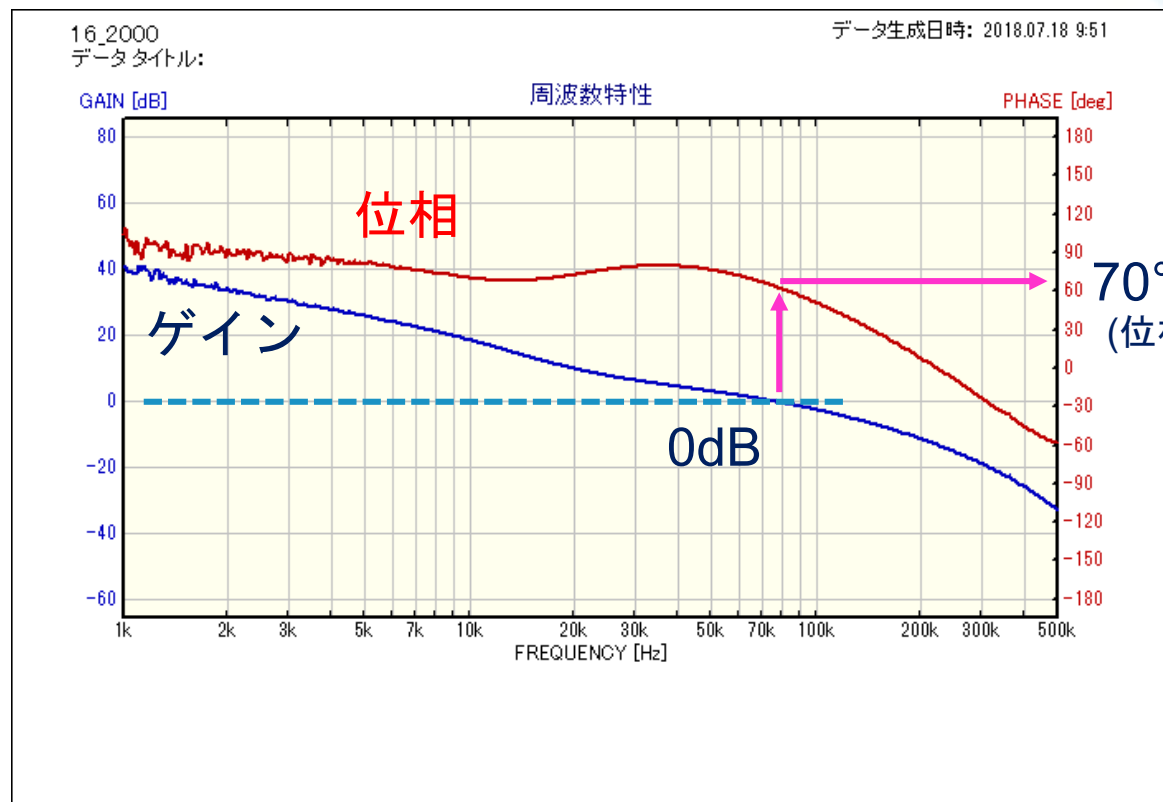
ゲイン0dB のときの位相が位相余裕。

これが不十分だと出力電圧がリングする。

または発振する。（左図は70°あるのでOK）

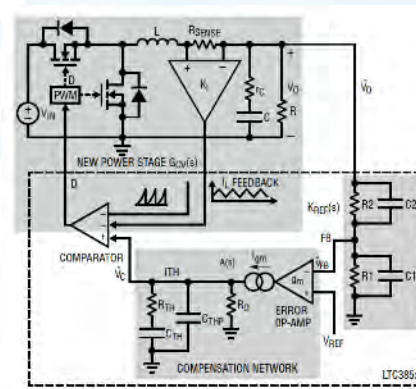


f_c を高周波側にもっていくには？（その1）



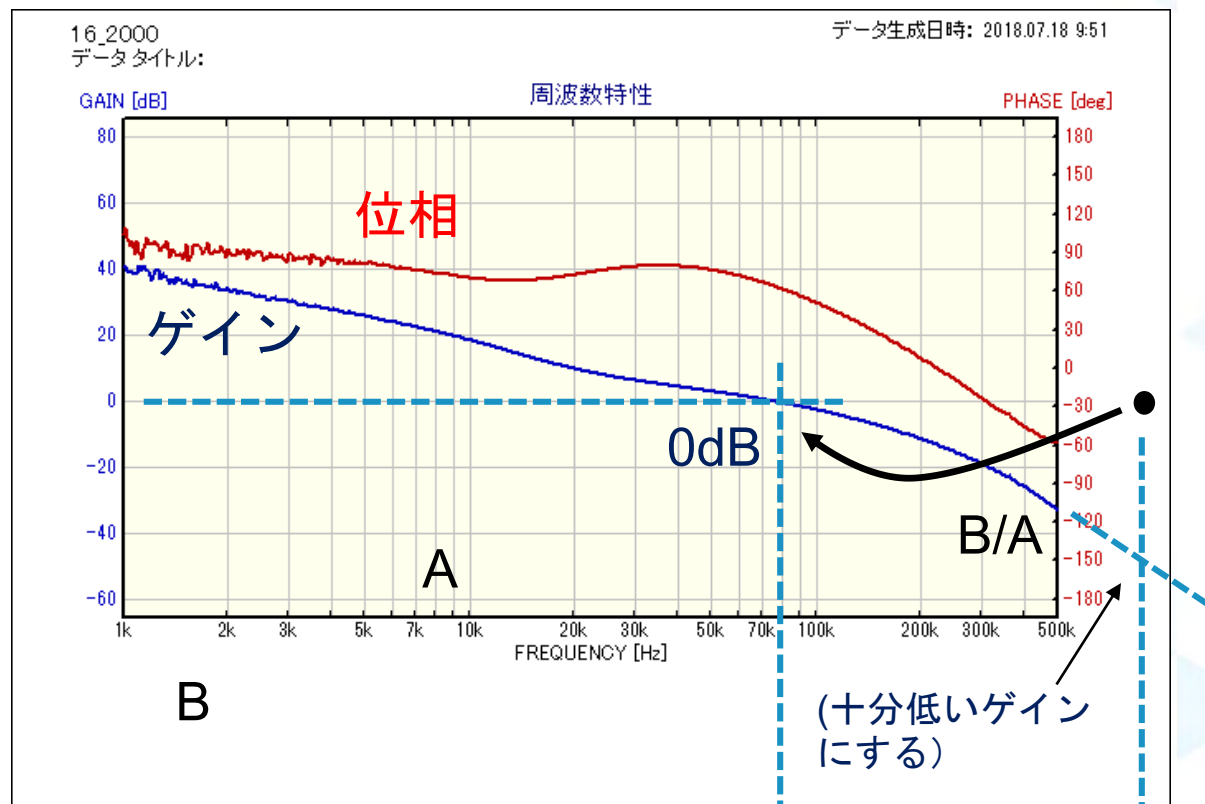
LT8609Aを2MHz設定にして測定

1) 位相余裕の調整



OPTI-LOOPにより調整可能
(アプリケーションノート76)

f_c を高周波側にもっていくときの制限（その2）



LT8609Aを2MHz設定にして測定

80kHz
(クロスオーバー周波数)

2MHz
(スイッチング周波数)

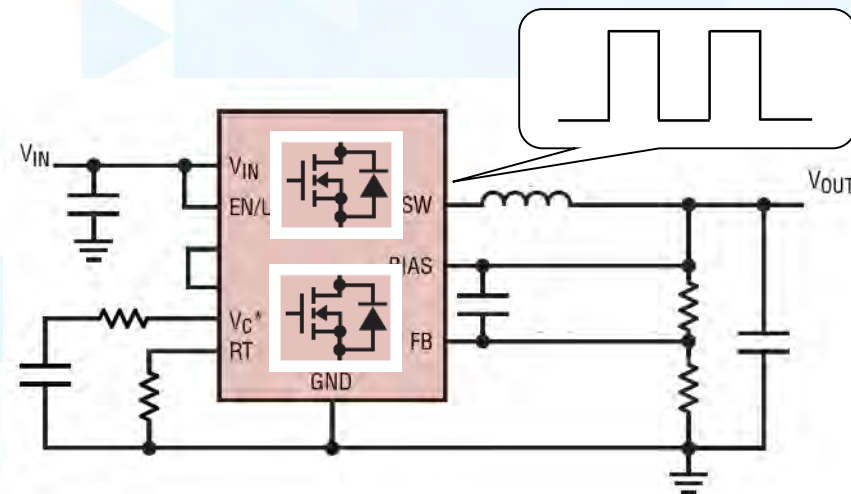
1/5以下

2) スwitchング周波数

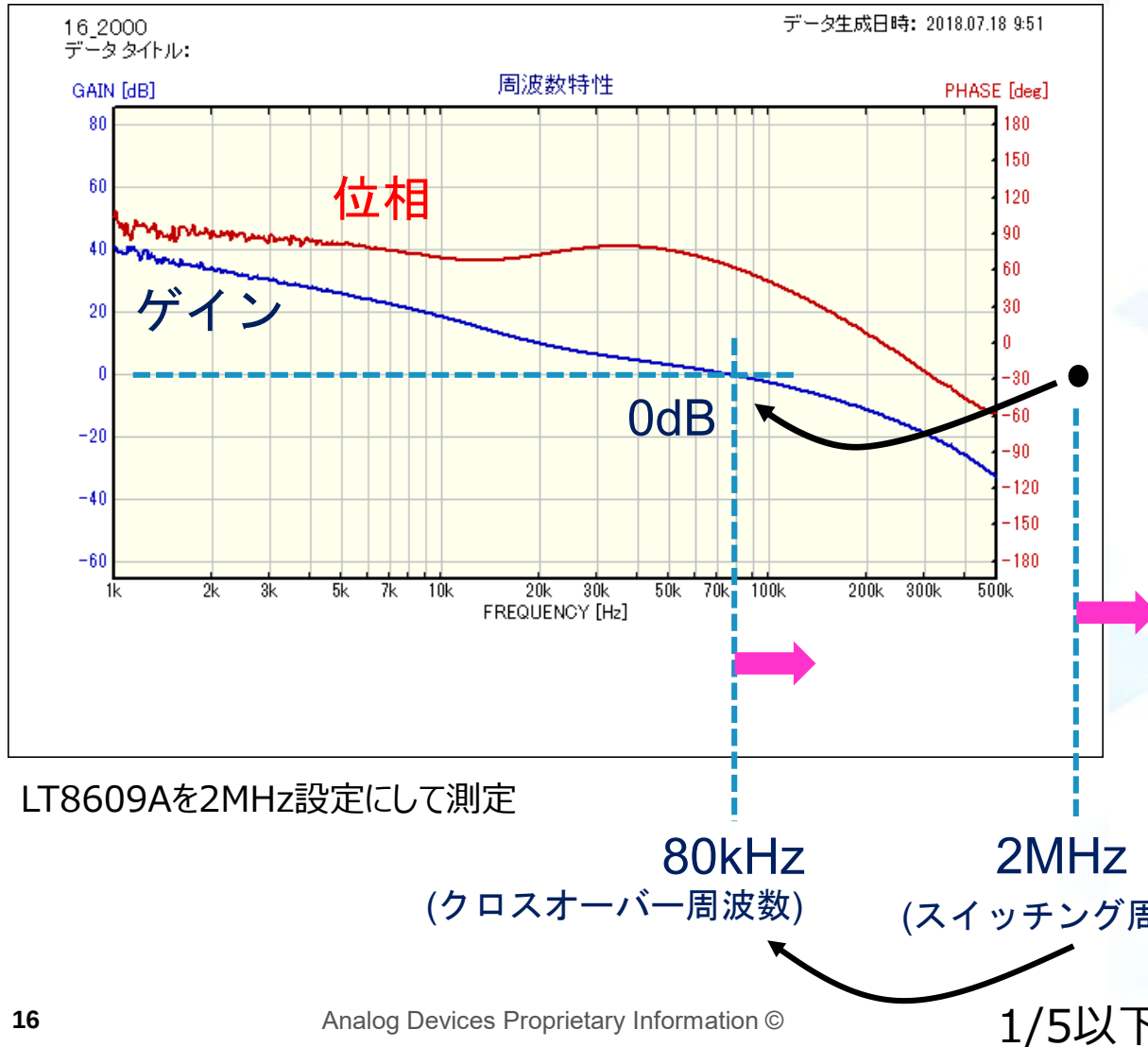
自分自身のスイッチング周波数までゲインがあると
自分のスイッチング動作に反応してしまう。

→安定動作できない。

そのためクロスオーバー周波数は
スイッチング周波数の 1/5以下にするのが一般的。



f_c を高周波側にもっていくには？（その2）



2) スwitchング周波数を高くする

ICの性能による。

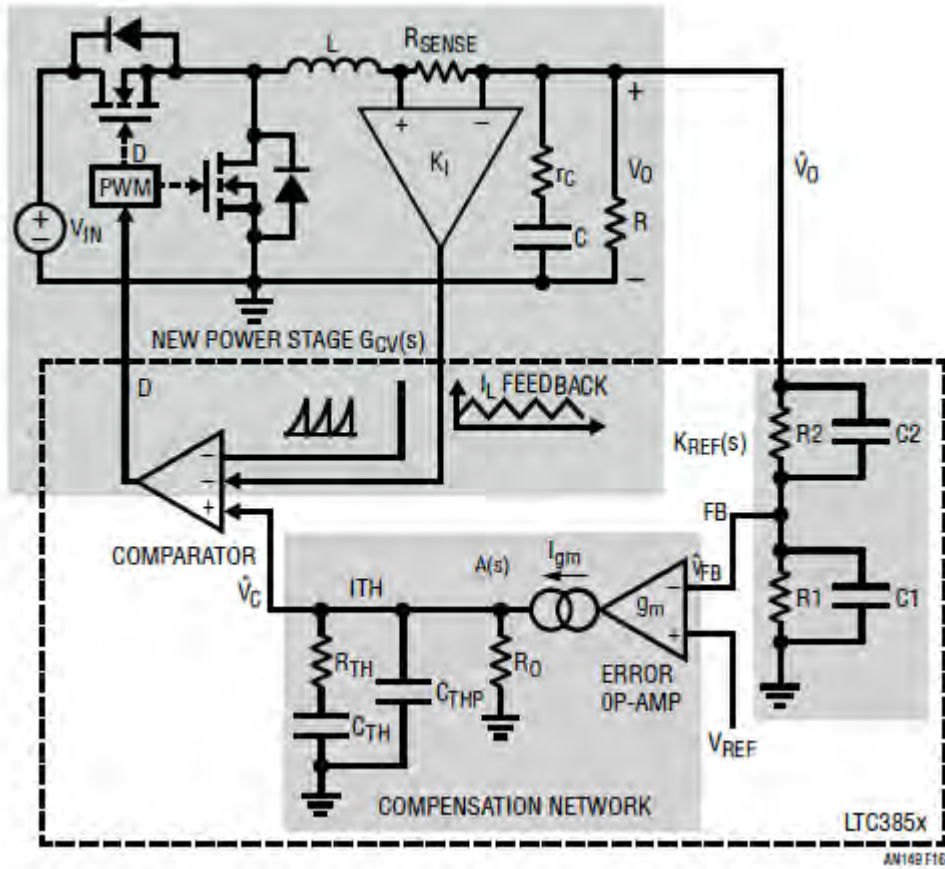
高いスイッチング周波数に設定可能なものを選択するしかない。

高いスイッチング周波数

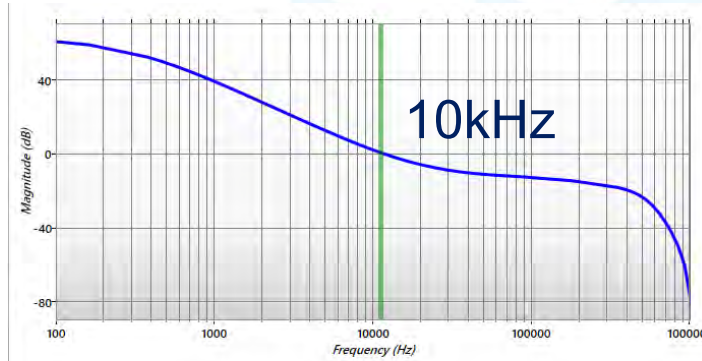


高いクロスオーバー周波数 (f_c)

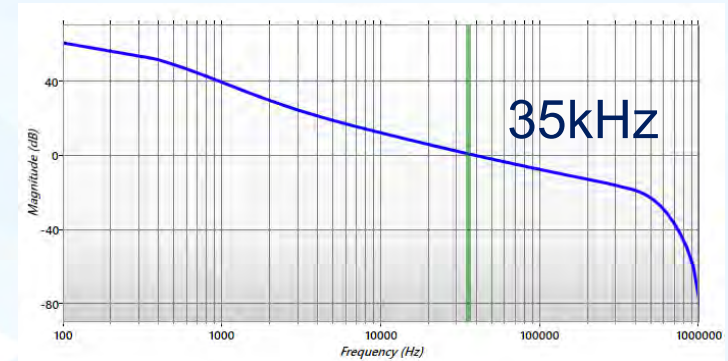
位相余裕の調整



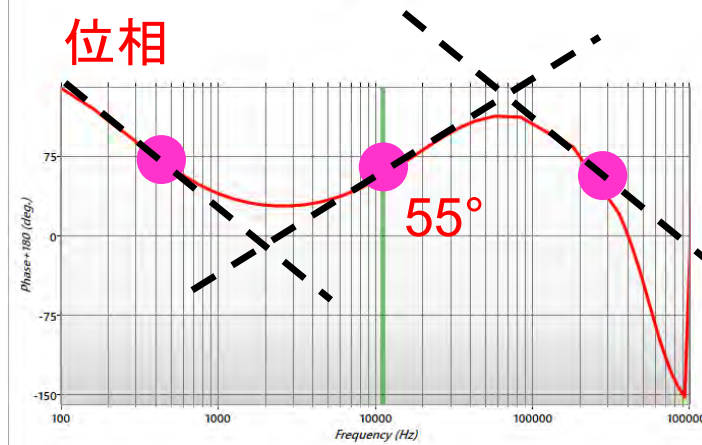
ゲイン クロスオーバー



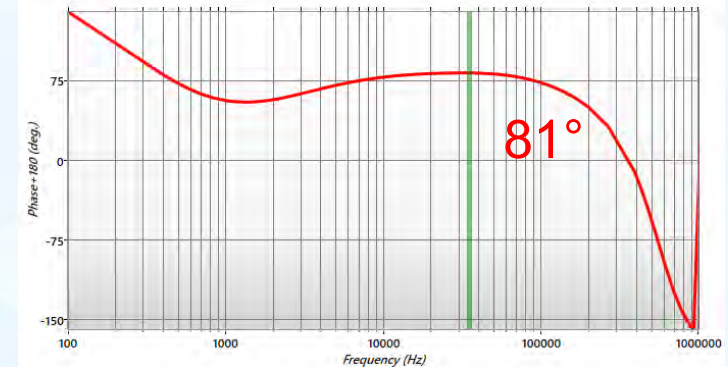
クロスオーバー



位相

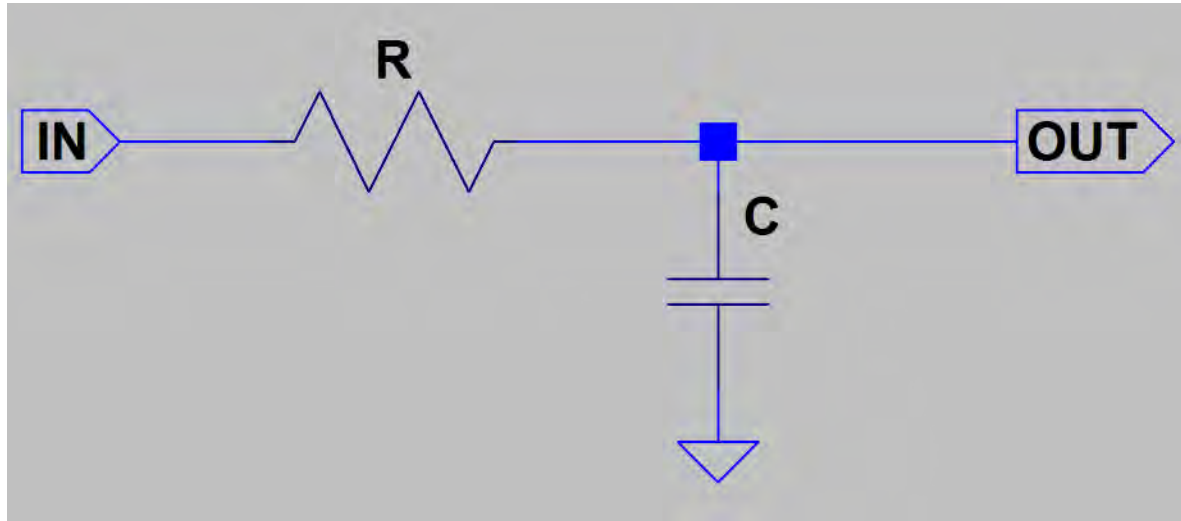


早い！

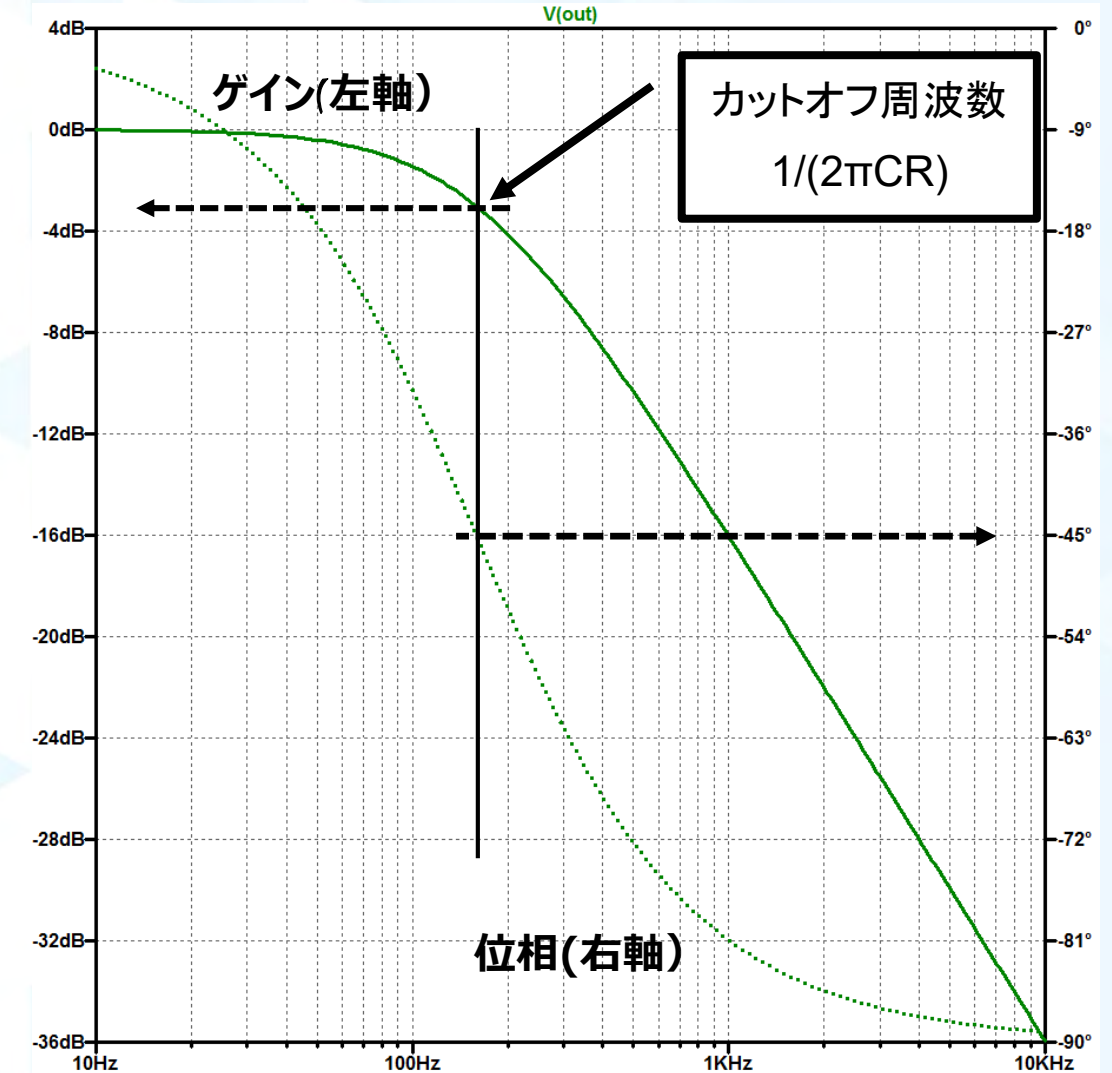


余裕ある！

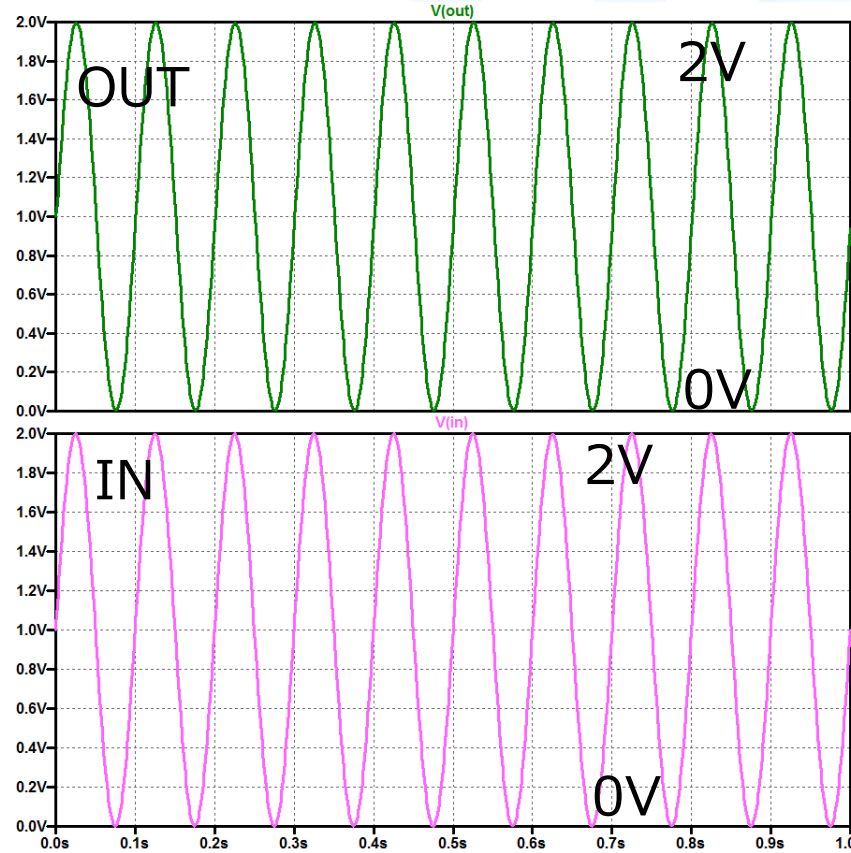
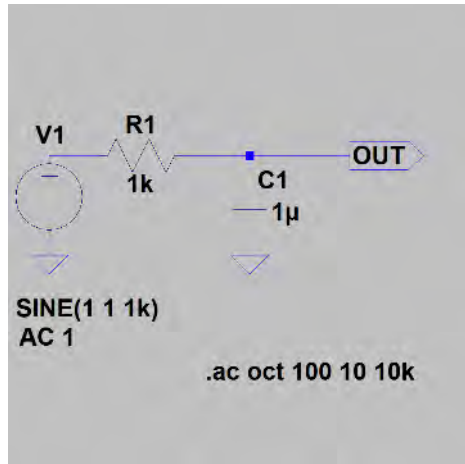
学校のおさらい（カットオフ周波数）



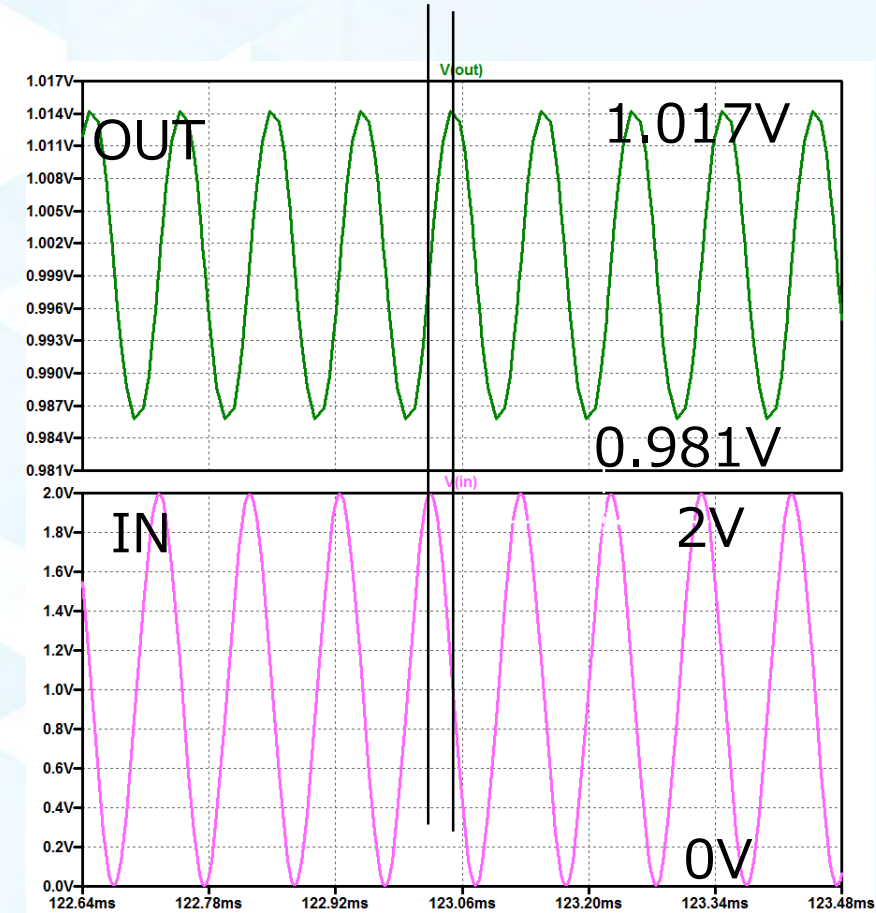
$$\text{カットオフ周波数} = \frac{1}{2\pi CR}$$



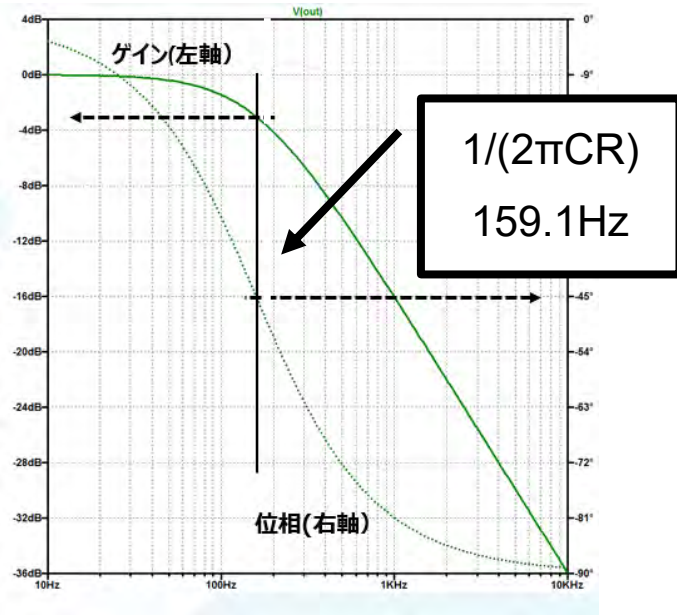
学校のおさらい（カットオフ周波数）



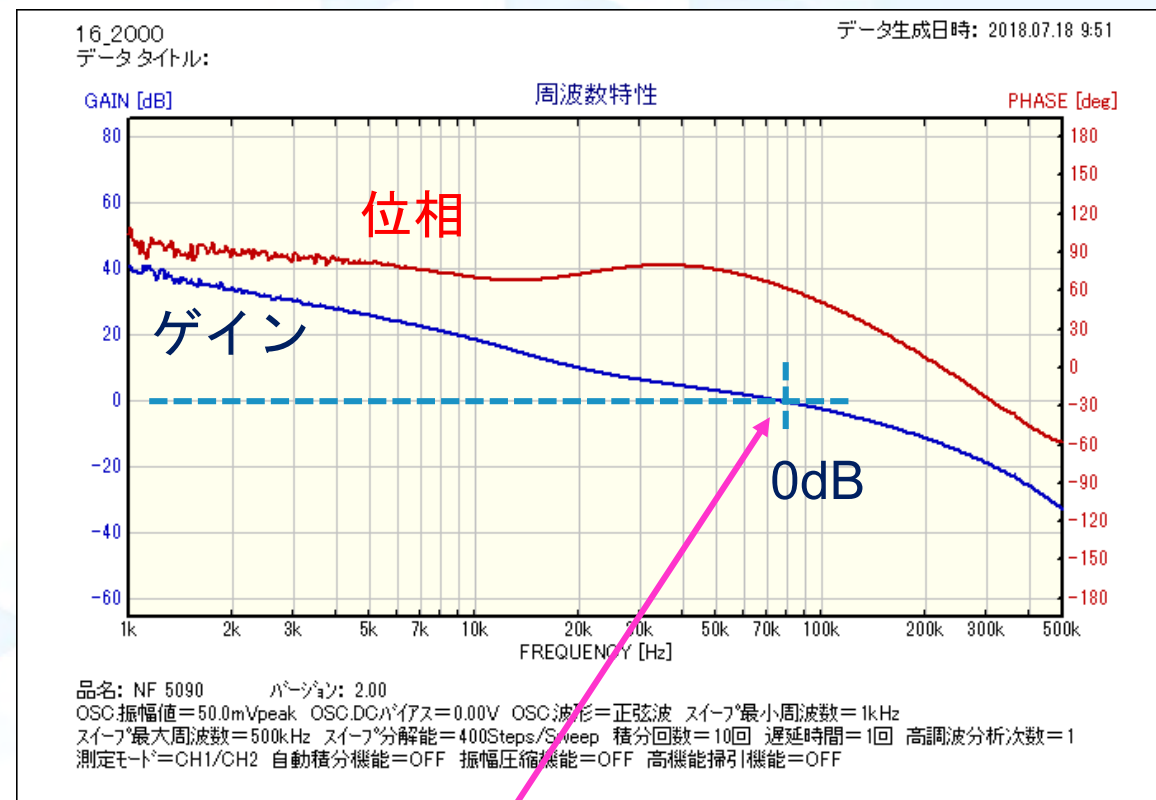
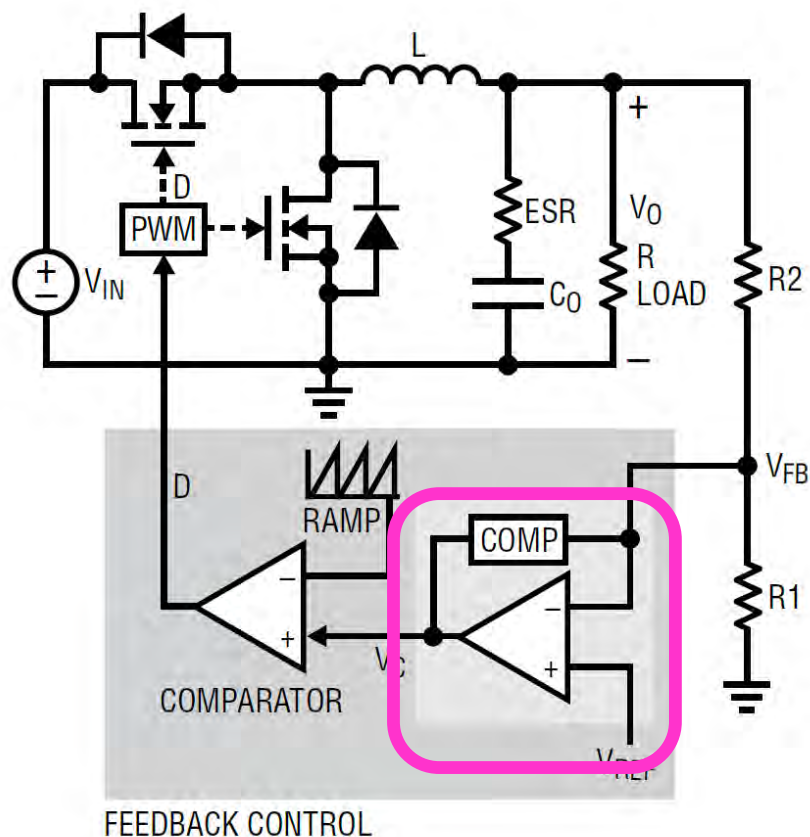
10Hz



10k Hz

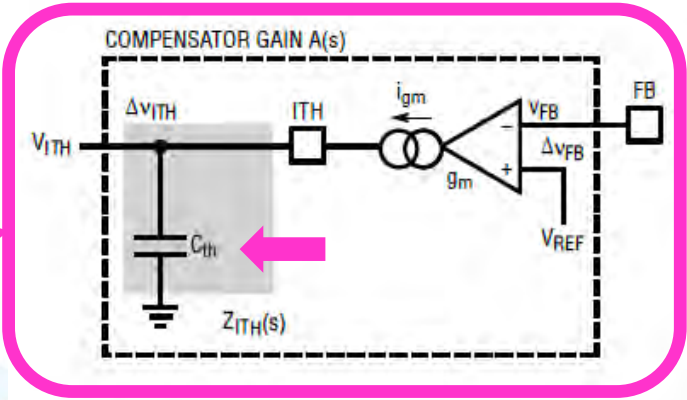
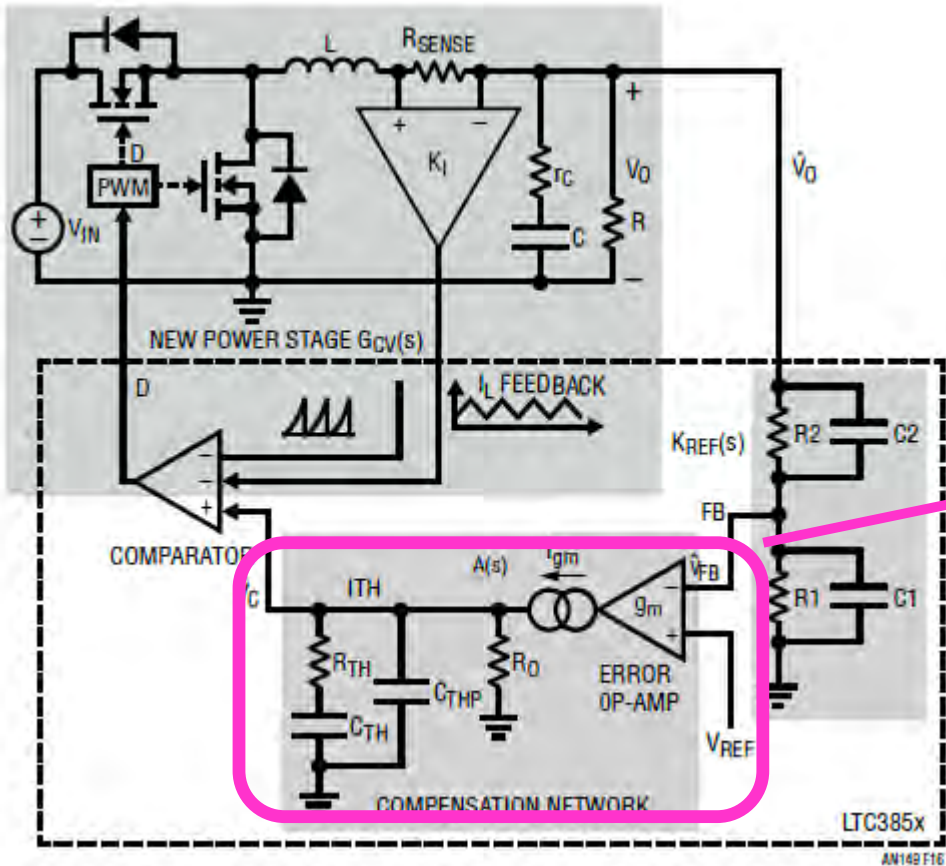


クロスオーバー周波数 (f_c) を高周波側へ！



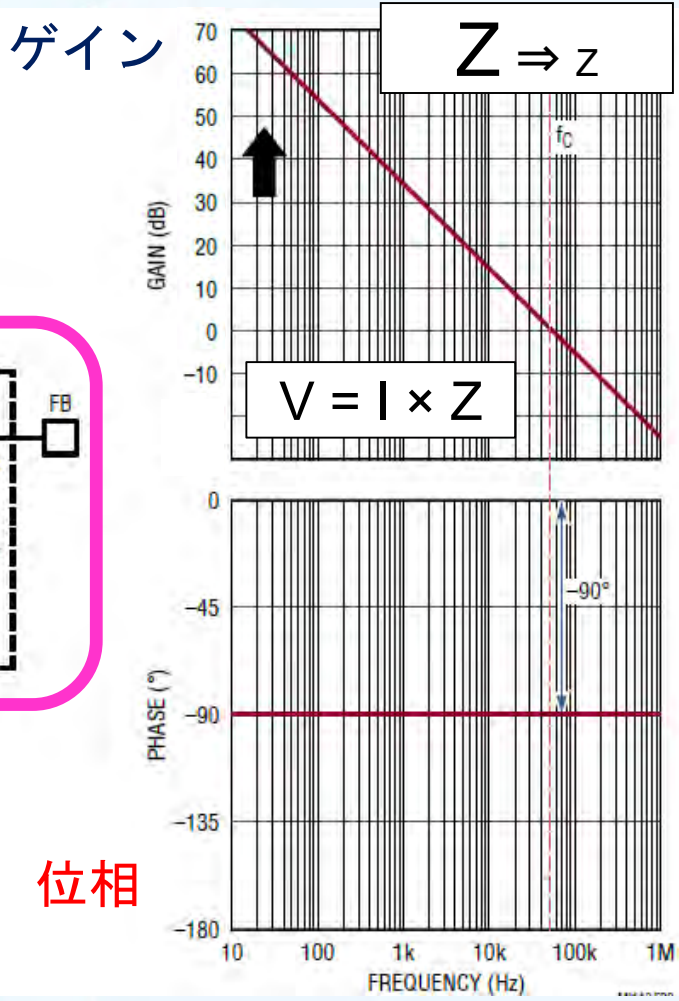
クロスオーバー周波数 f_c (ゲイン=0dB)
を高周波側にもっていきたい

位相余裕の調整, STEP 0



Cthのみ

$$Z = \frac{1}{j \omega C} \quad \left(= \frac{1}{2\pi f C} \right)$$



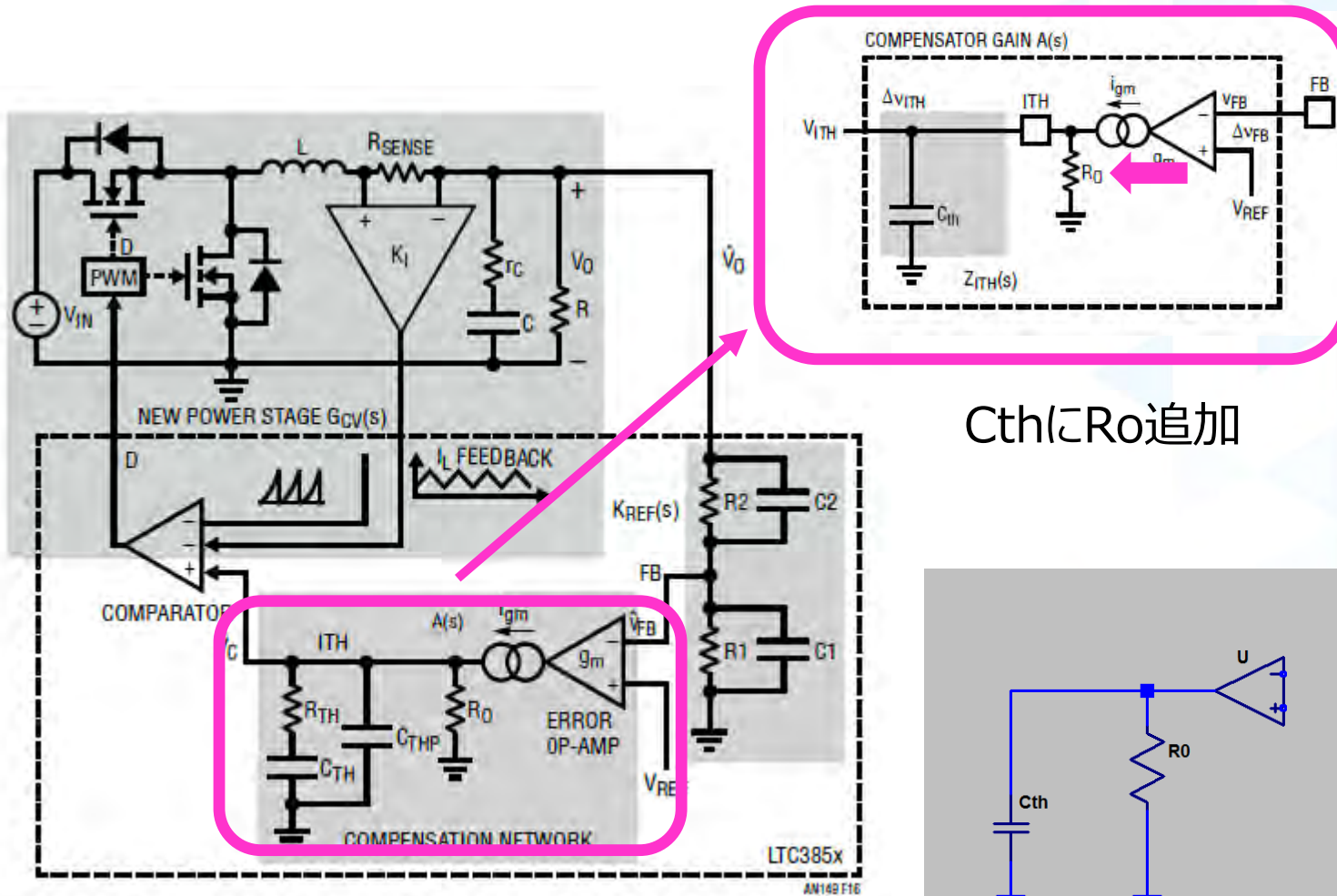
ゲイン

$Z \Rightarrow z$

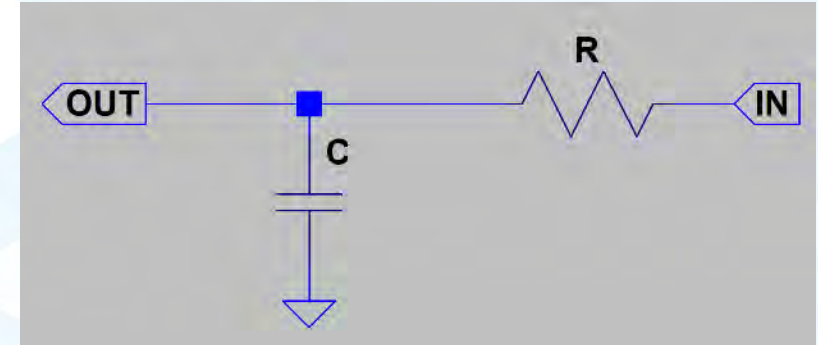
$$V = I \times Z$$

位相

位相余裕の調整, STEP 1

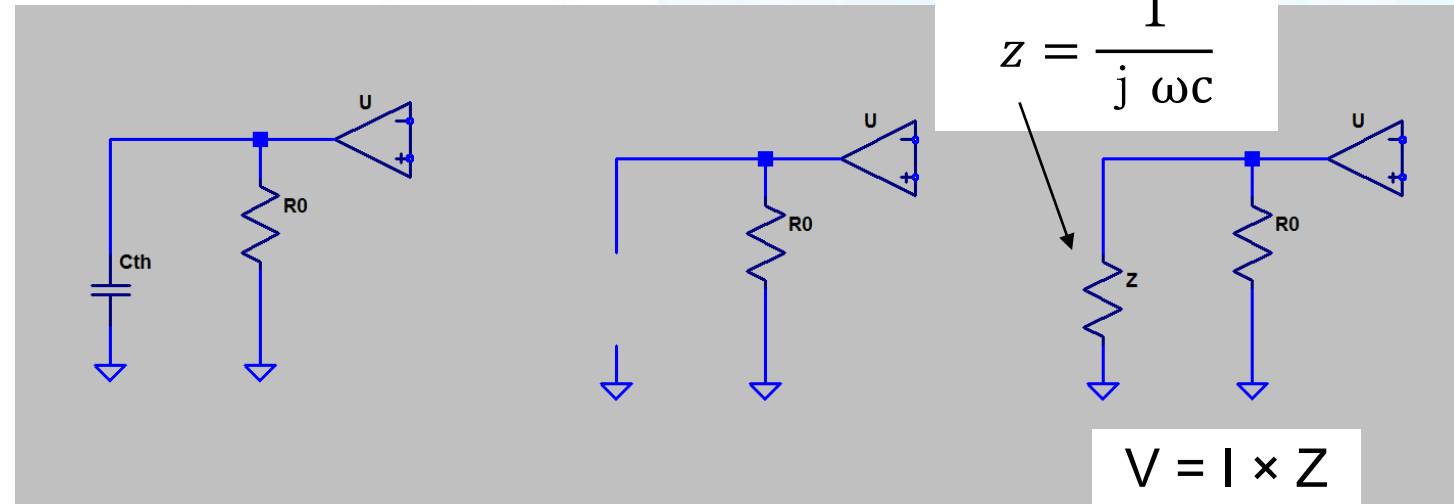


C_{th} に R_0 追加



低周波数

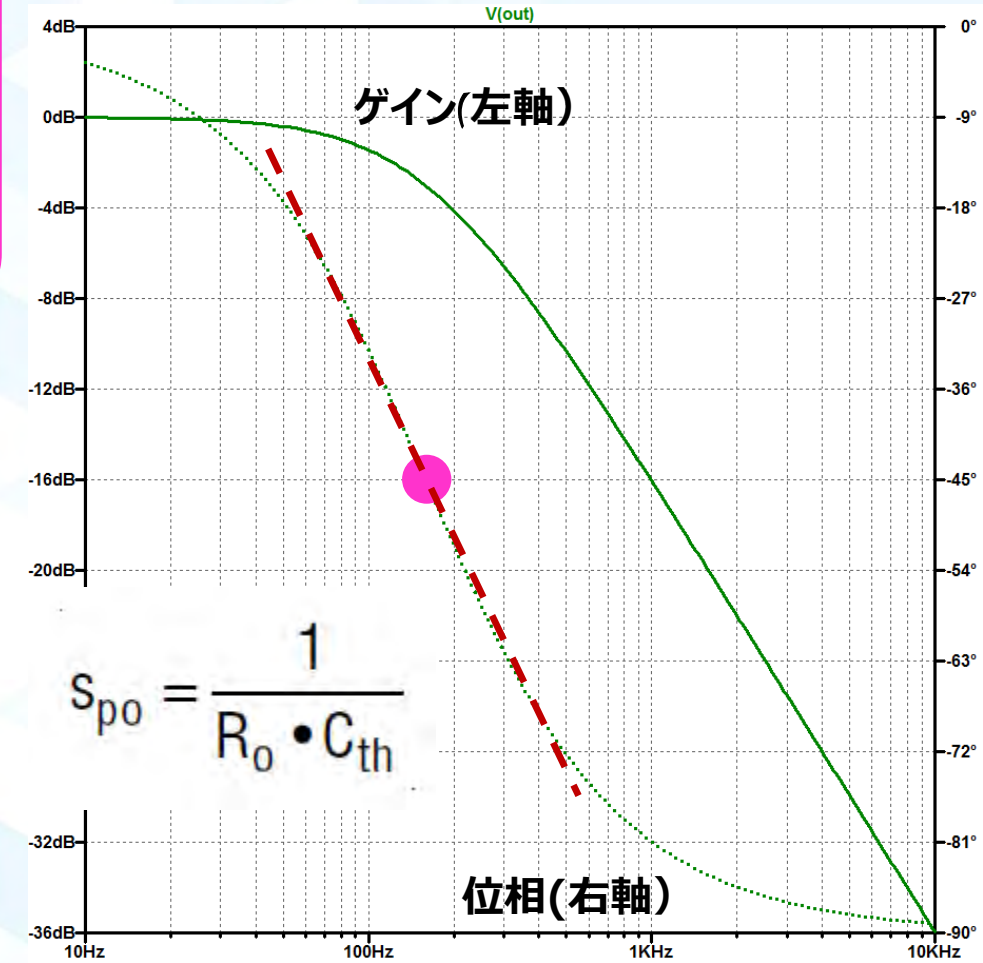
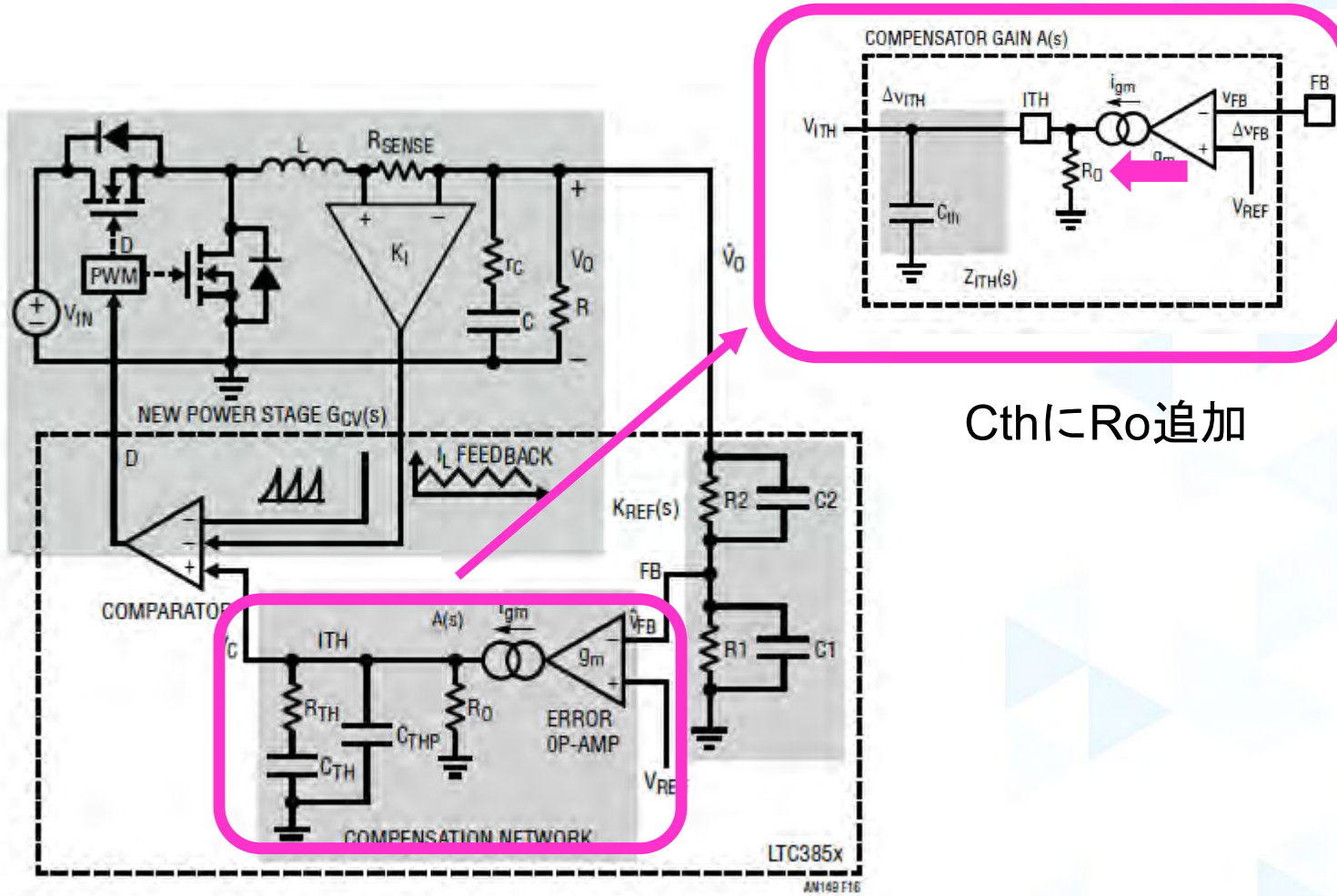
高周波数



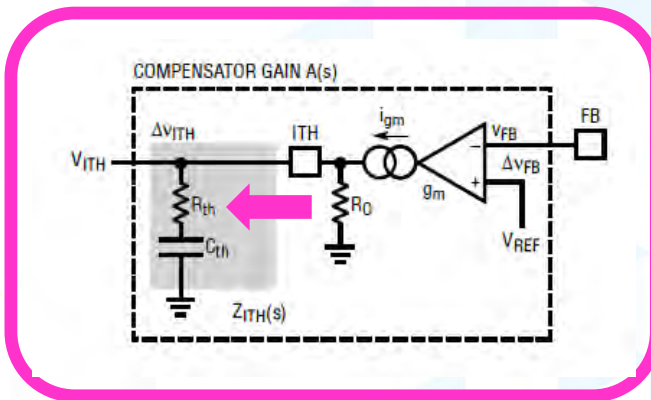
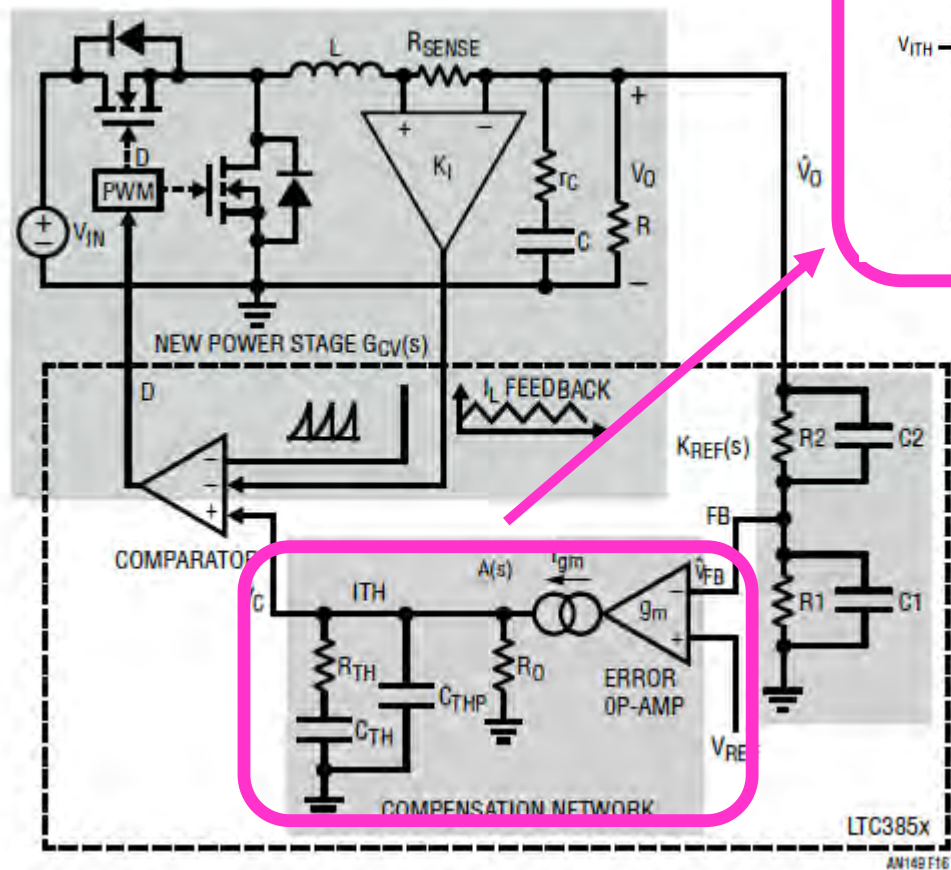
$$Z = \frac{1}{j \omega C}$$

$$V = I \times Z$$

位相余裕の調整, STEP 1



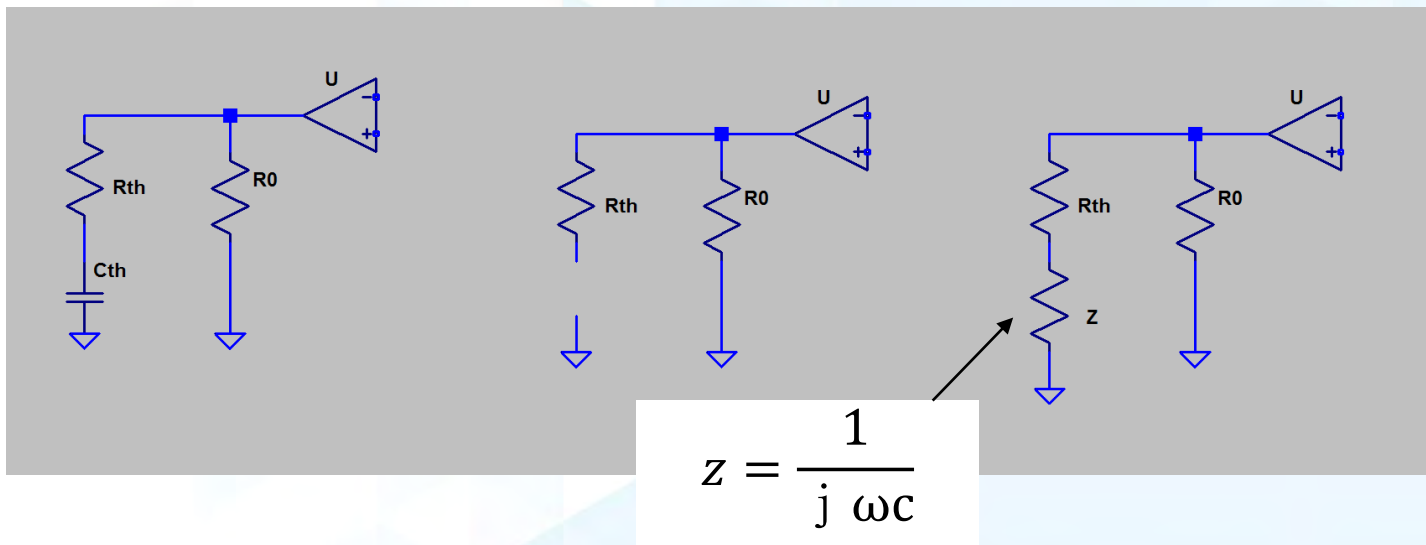
位相余裕の調整, STEP 2



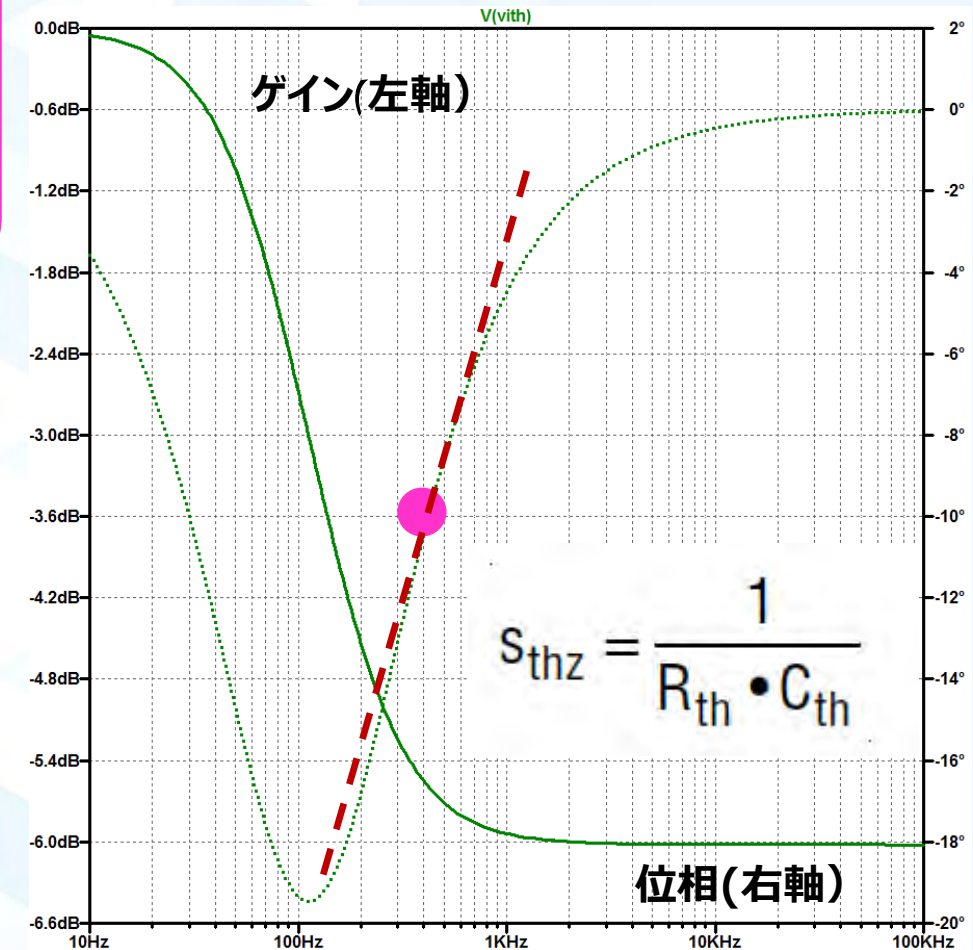
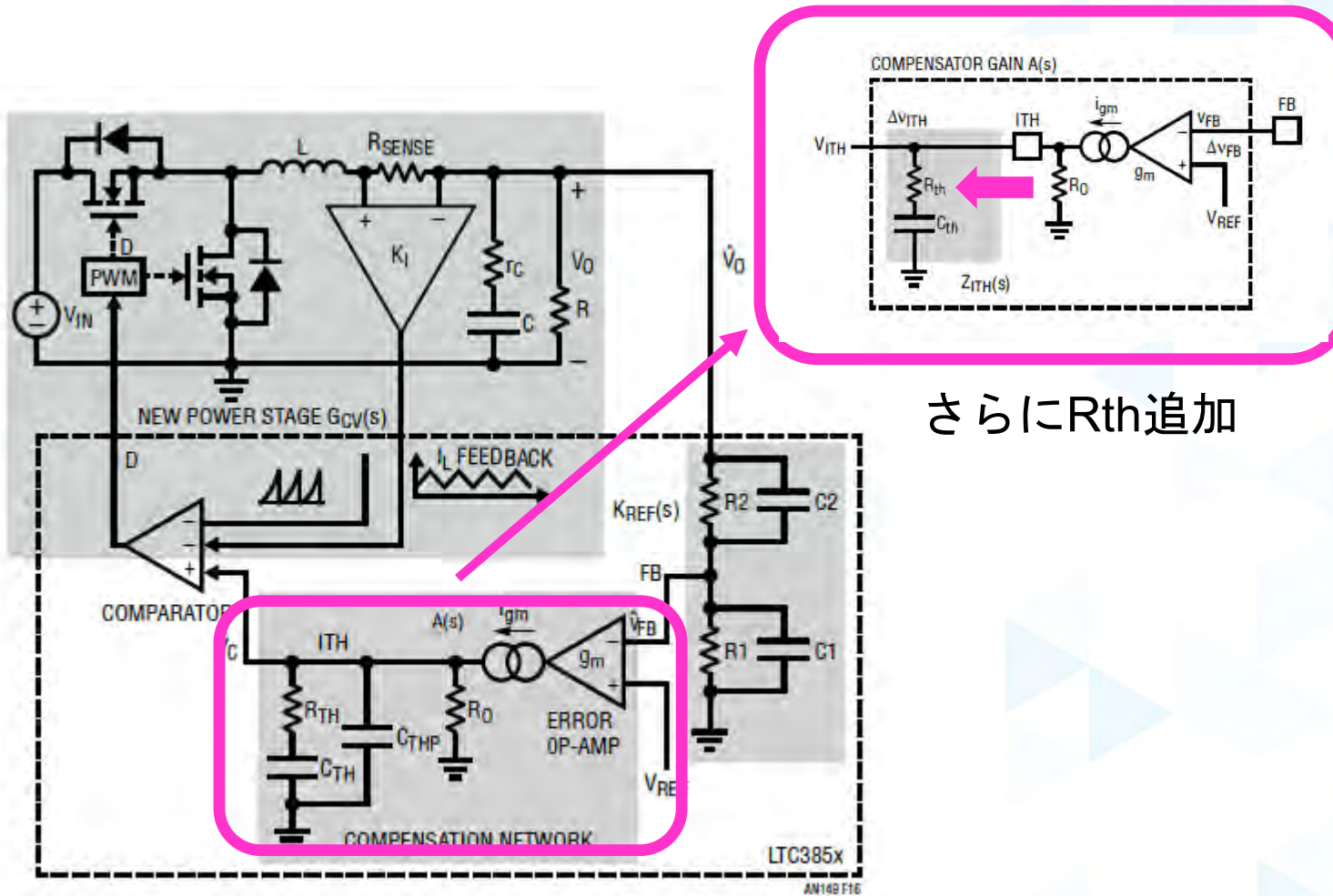
さらにRth追加

低周波数

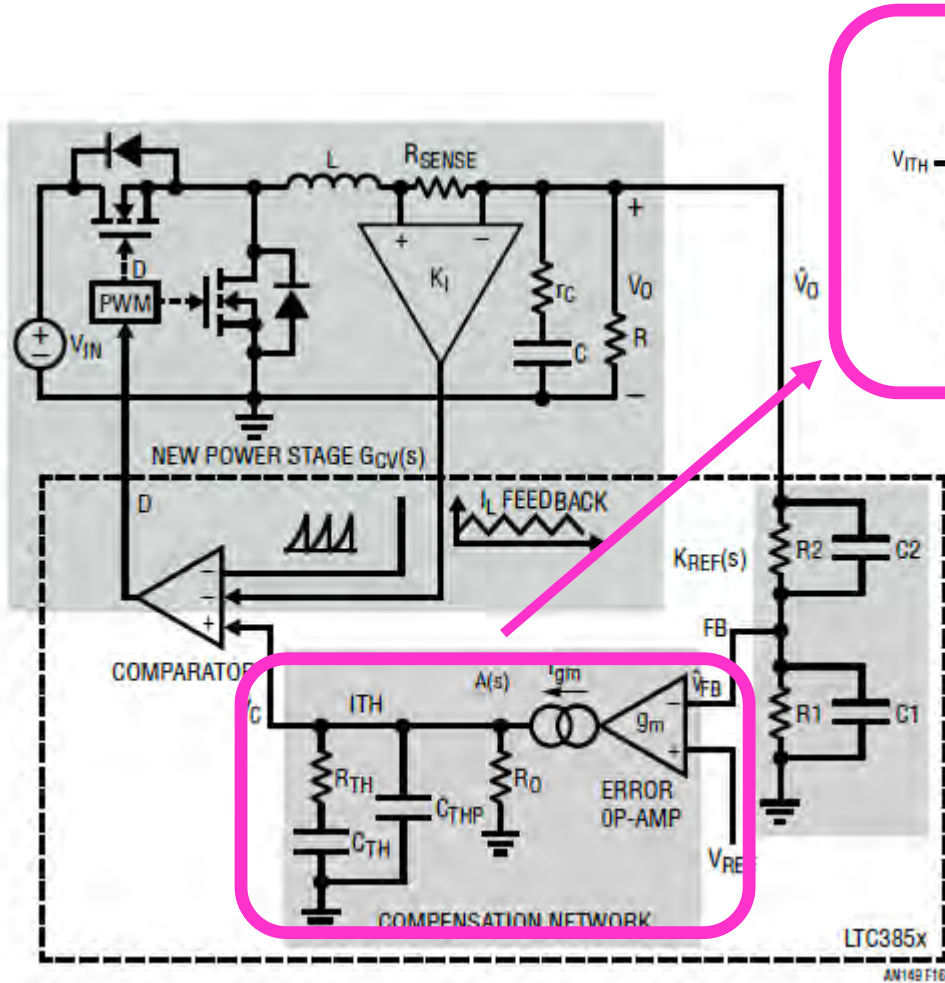
高周波数



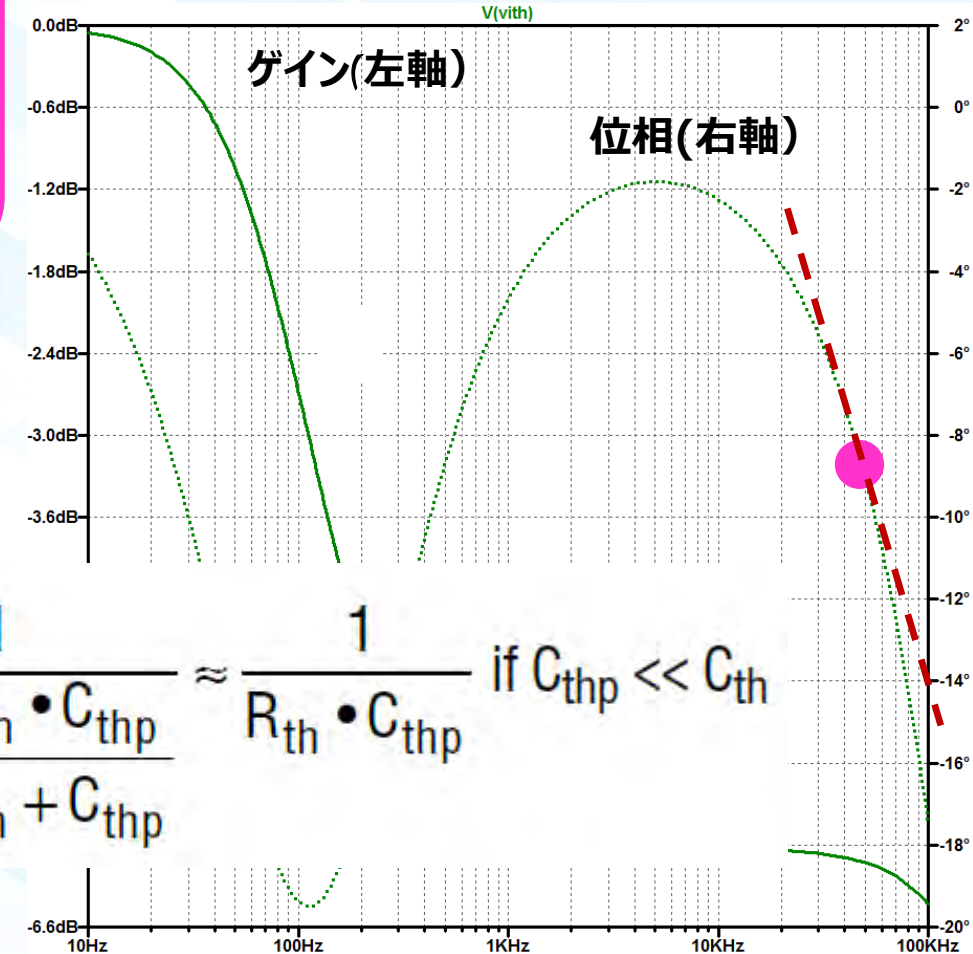
位相余裕の調整, STEP 2



位相余裕の調整, STEP 3

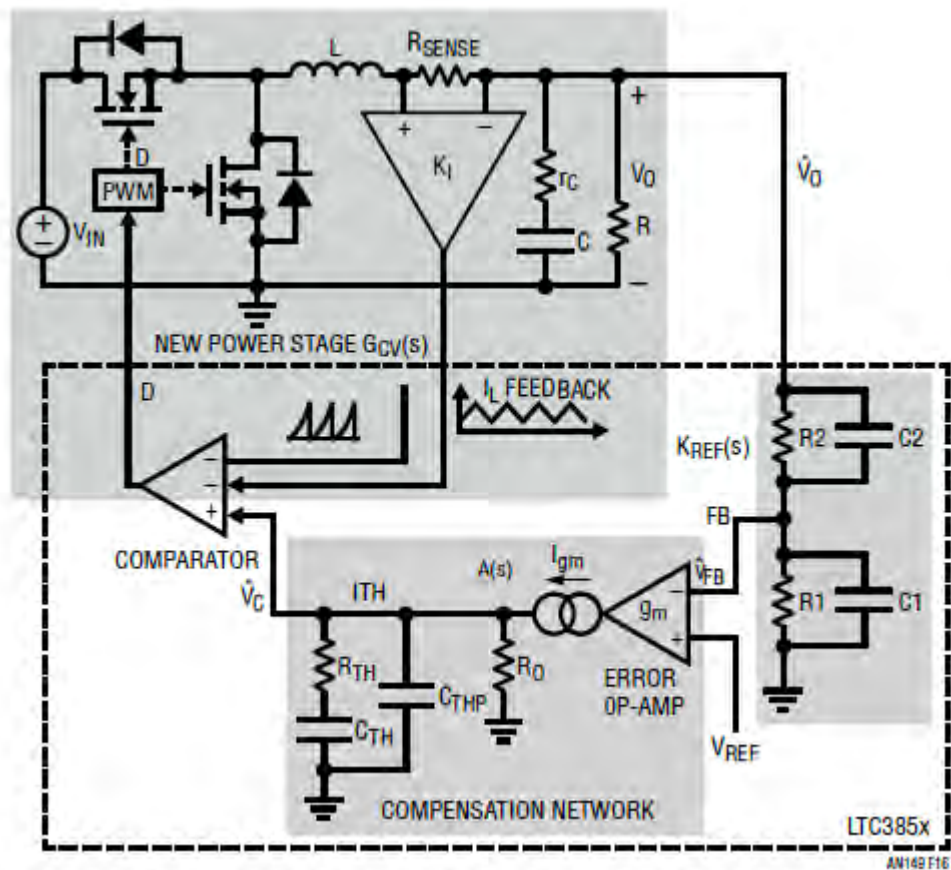


さらにCthp追加

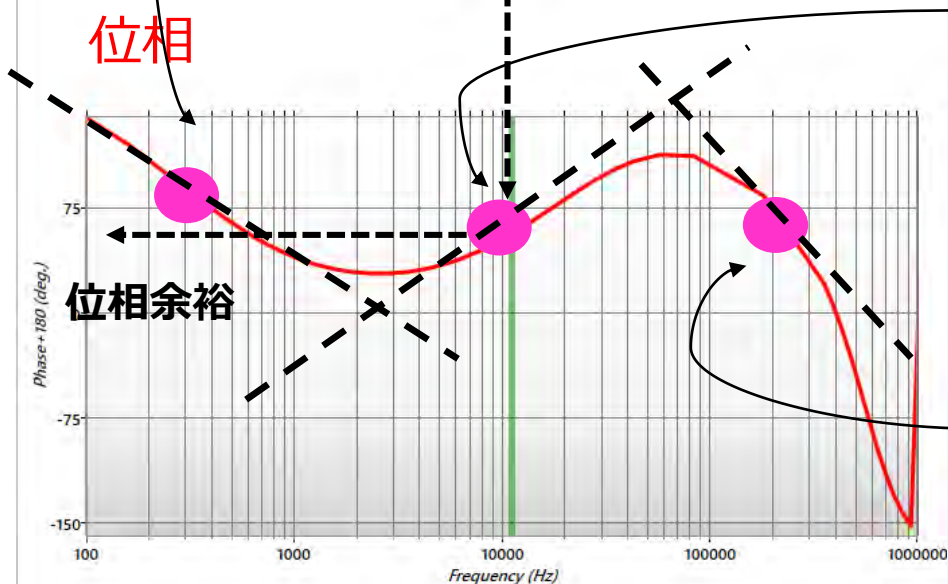
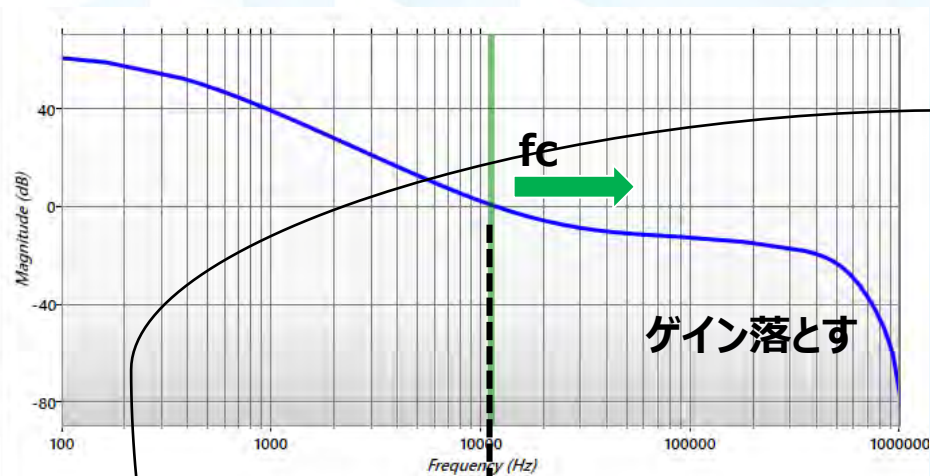


$$S_{thp} = \frac{1}{R_{th} \cdot \frac{C_{th} \cdot C_{thp}}{C_{th} + C_{thp}}} \approx \frac{1}{R_{th} \cdot C_{thp}} \text{ if } C_{thp} \ll C_{th}$$

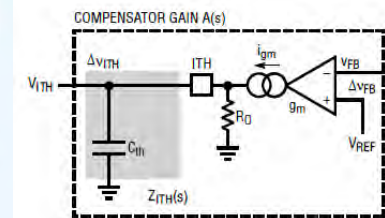
位相余裕の調整 まとめ



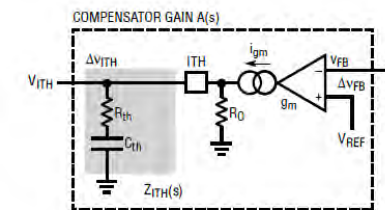
ゲイン



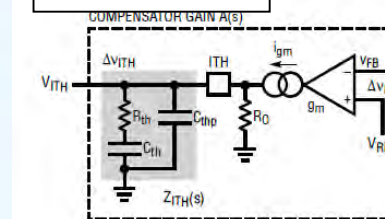
STEP1



STEP2



STEP3

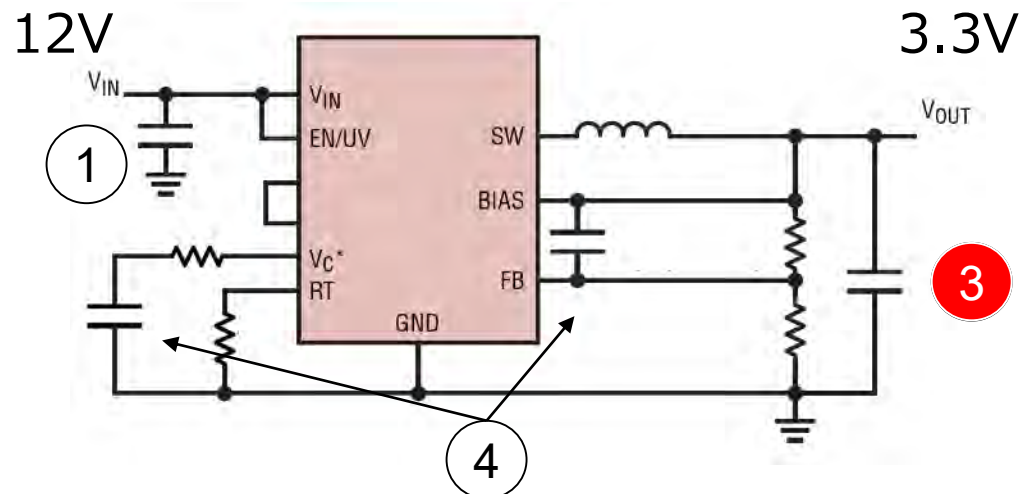


アジェンダ

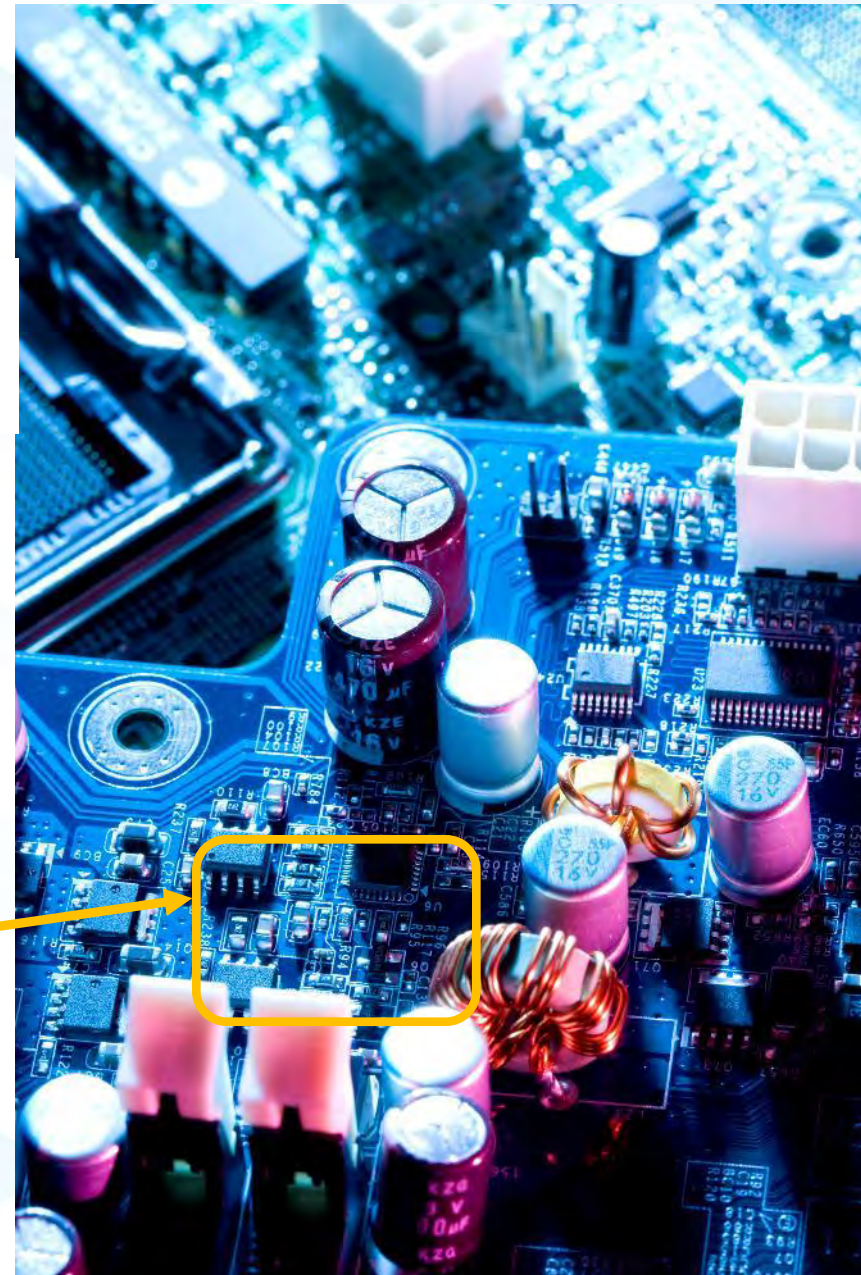
スイッチング電源に使われるコンデンサ

- 1) 入力コンデンサ
- 2) バイパスコンデンサ
- 3) **出力コンデンサ**
- 4) 補償用コンデンサ

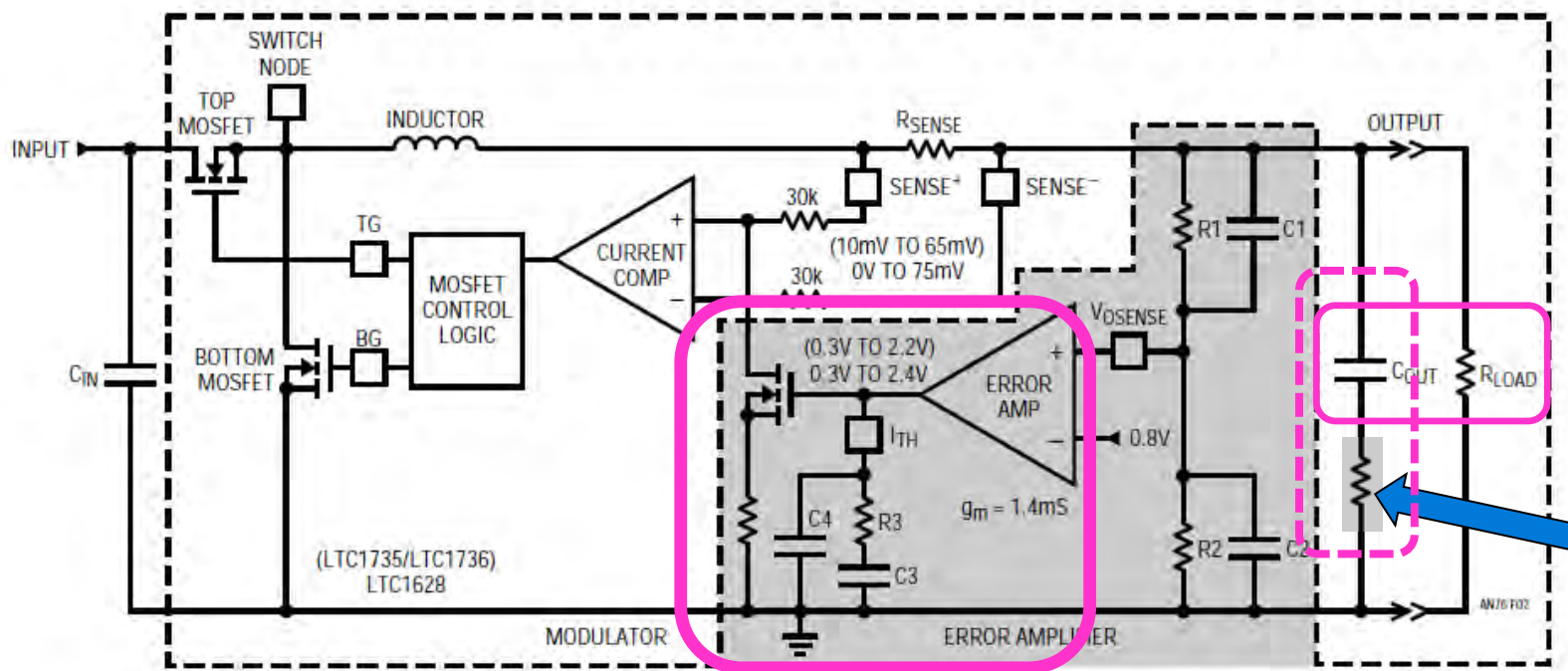
Silent Switcher のメリット紹介



2

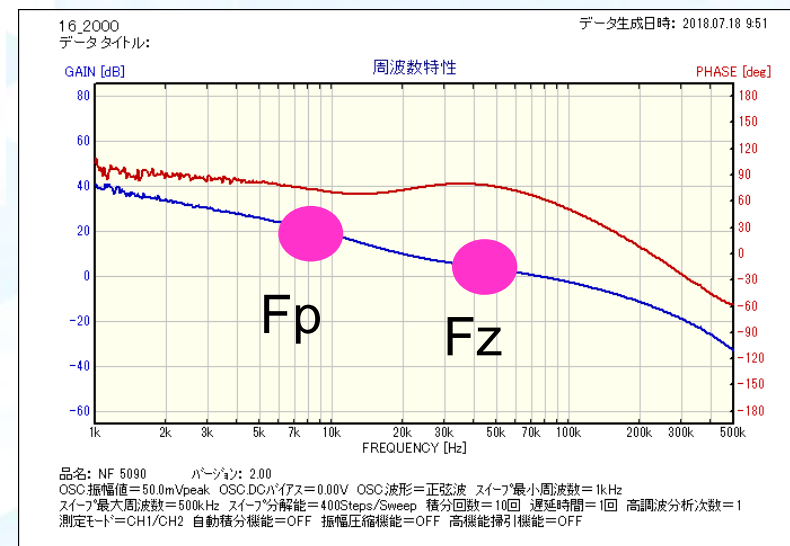


出力コンデンサの影響



$$F_p = \frac{1}{(2\pi * R_{load} * C_{out})}$$

$$F_z = \frac{1}{(2\pi * ESR * C_{out})}$$



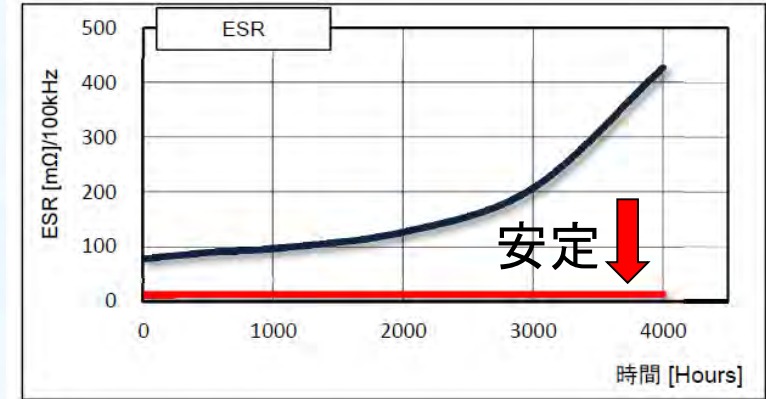
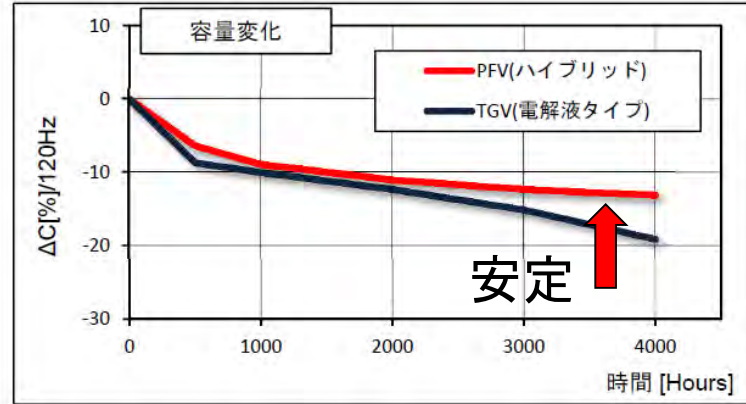
PZ-cap

巻回形導電性高分子アルミ固体電解コンデンサ
ハイブリッドタイプ

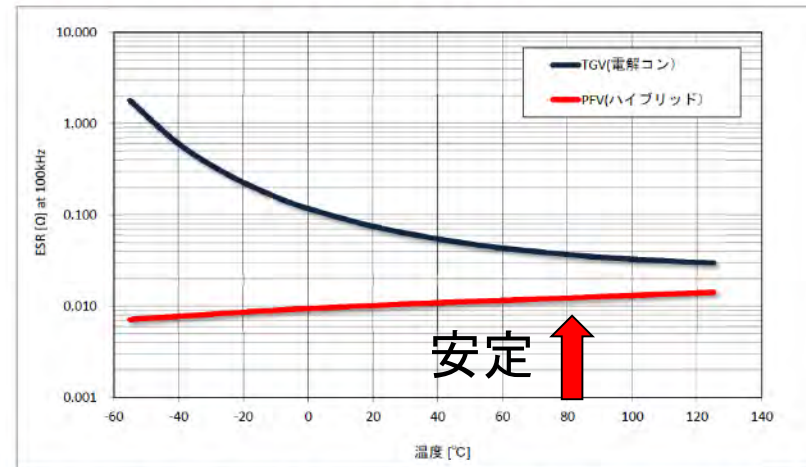


$$F_p = \frac{1}{(2\pi * R_{load} * C_{out})}$$

$$F_z = \frac{1}{(2\pi * ESR * C_{out})}$$

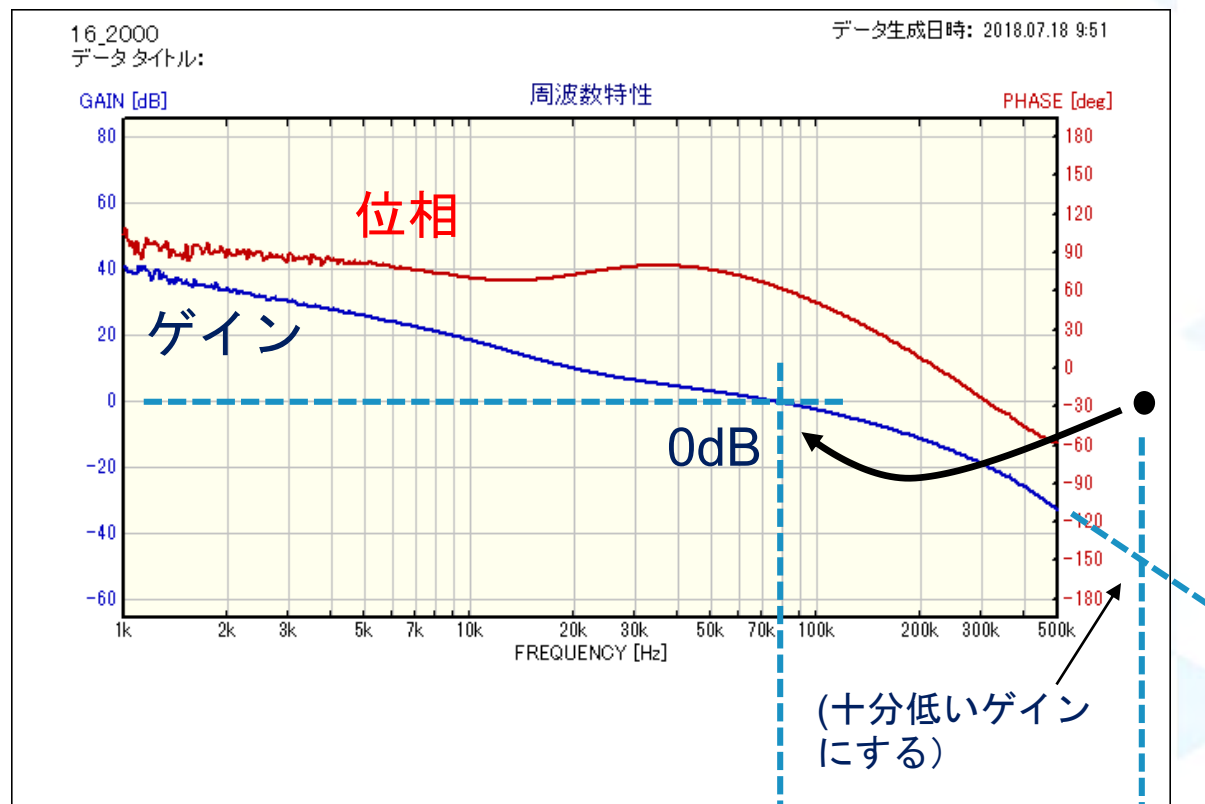


ESRの温度特性 試験品: 25V 330μF φ10×10.5L



ハイブリッドタイプは、電解液タイプに比べ低温から高温で、ESR特性が安定している。

f_c を高周波側にもっていくときの制限（その2）



LT8609Aを2MHz設定にして測定

80kHz
(クロスオーバー周波数)

2MHz
(スイッチング周波数)

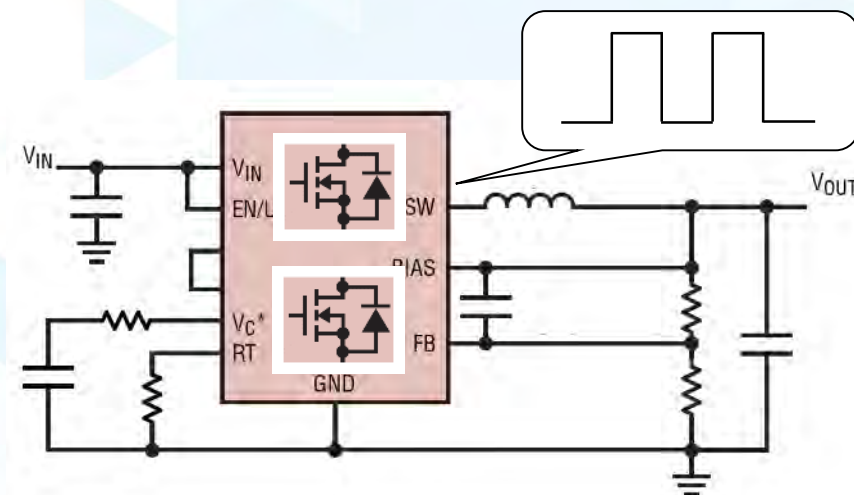
1/5以下

2) スwitchング周波数

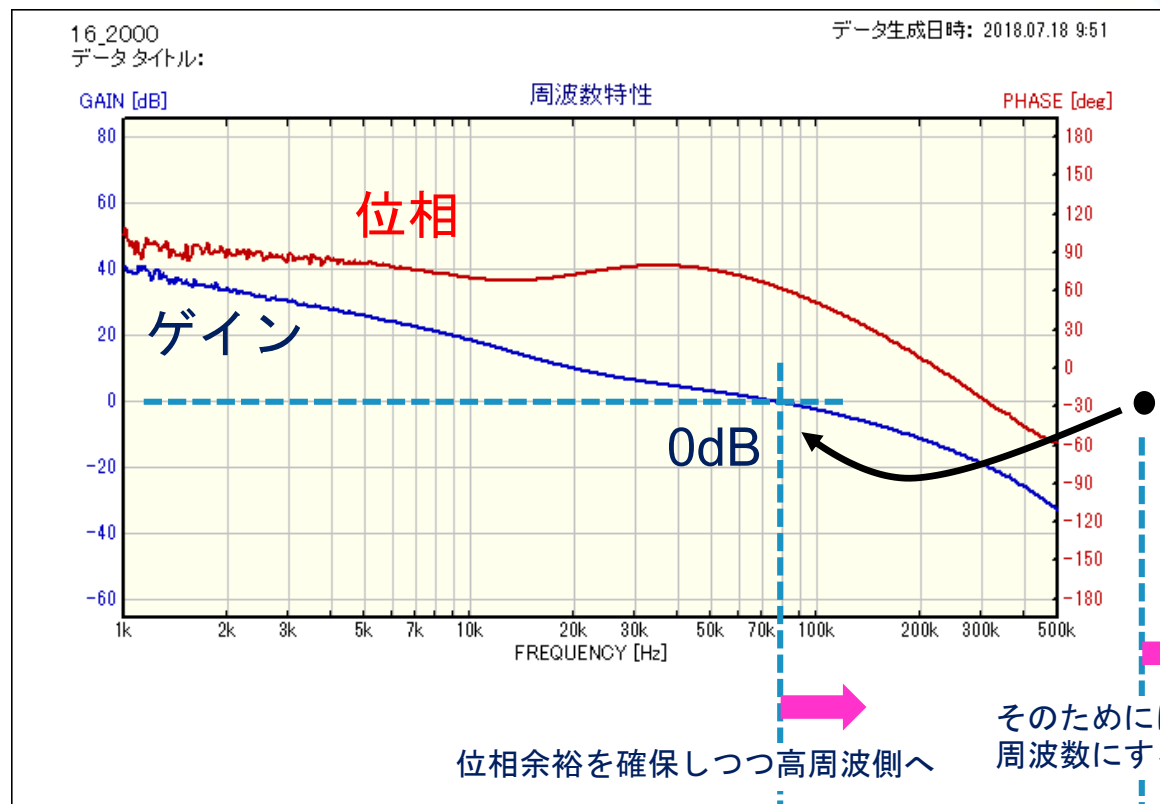
自分自身のスイッチング周波数までゲインがあると
自分のスイッチング動作に反応してしまう。

→安定動作できない。

そのためクロスオーバー周波数は
スイッチング周波数の 1/5以下にするのが一般的。



f_c を高周波側にもっていくには？（その2）



LT8609Aを2MHz設定にして測定

80kHz
(クロスオーバー周波数)

2MHz
(スイッチング周波数)

1/5以下

2) スwitchング周波数を高くする

ICの性能による。

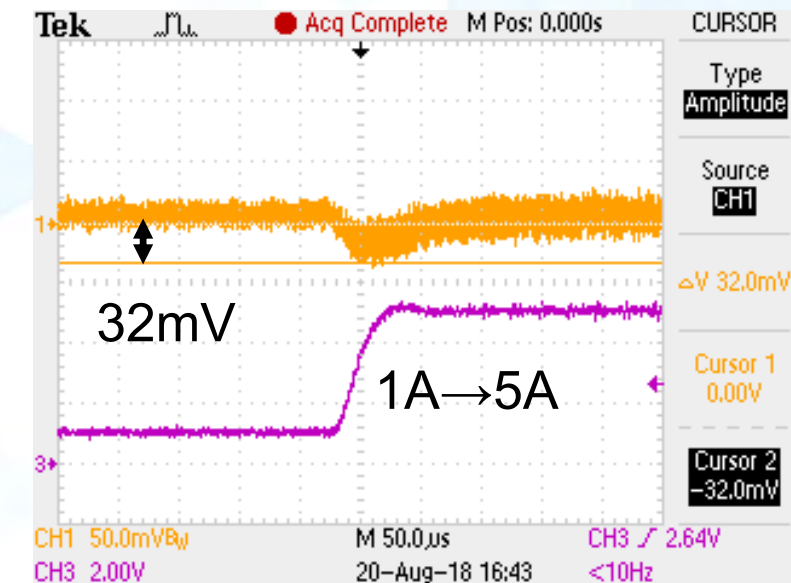
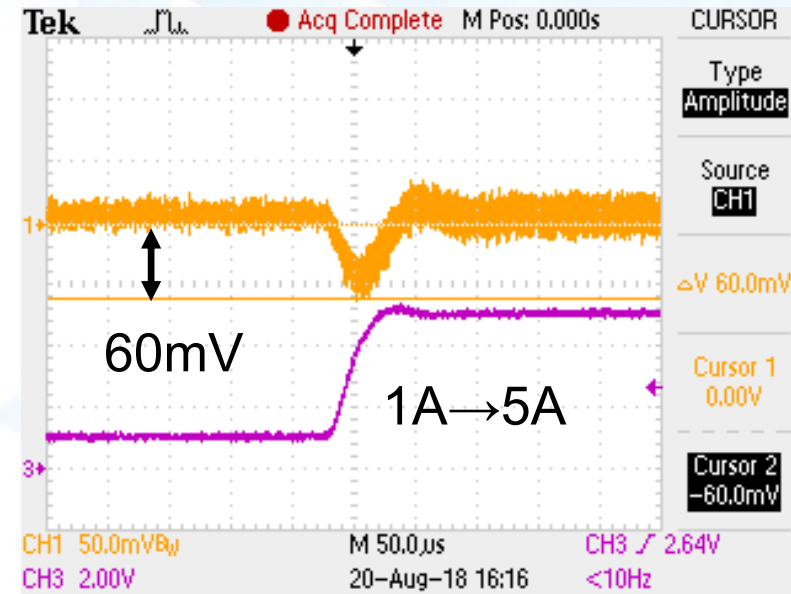
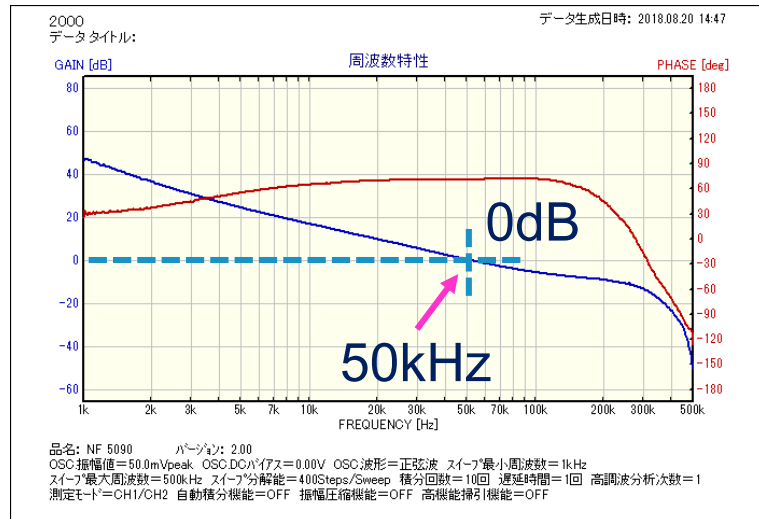
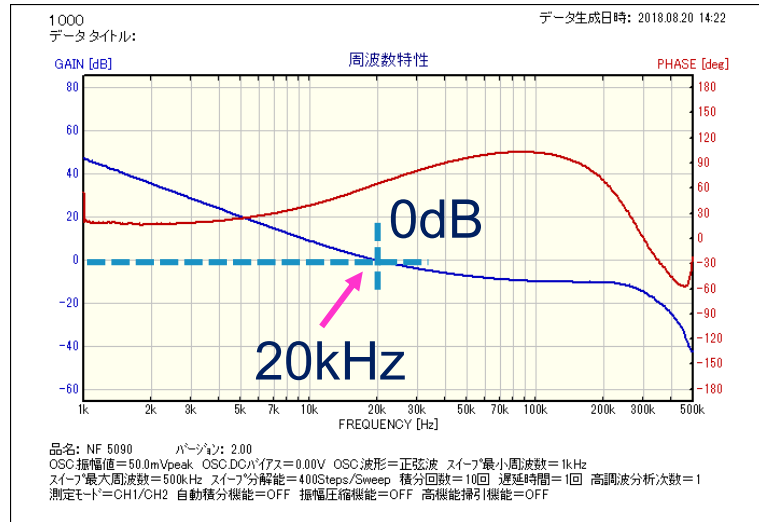
高いスイッチング周波数に設定可能なものを選択するしかない。

高いスイッチング周波数



高いクロスオーバー周波数

f_c の違いによる電圧ドロップの違い



高いスイッチング周波数, メリット／デメリット

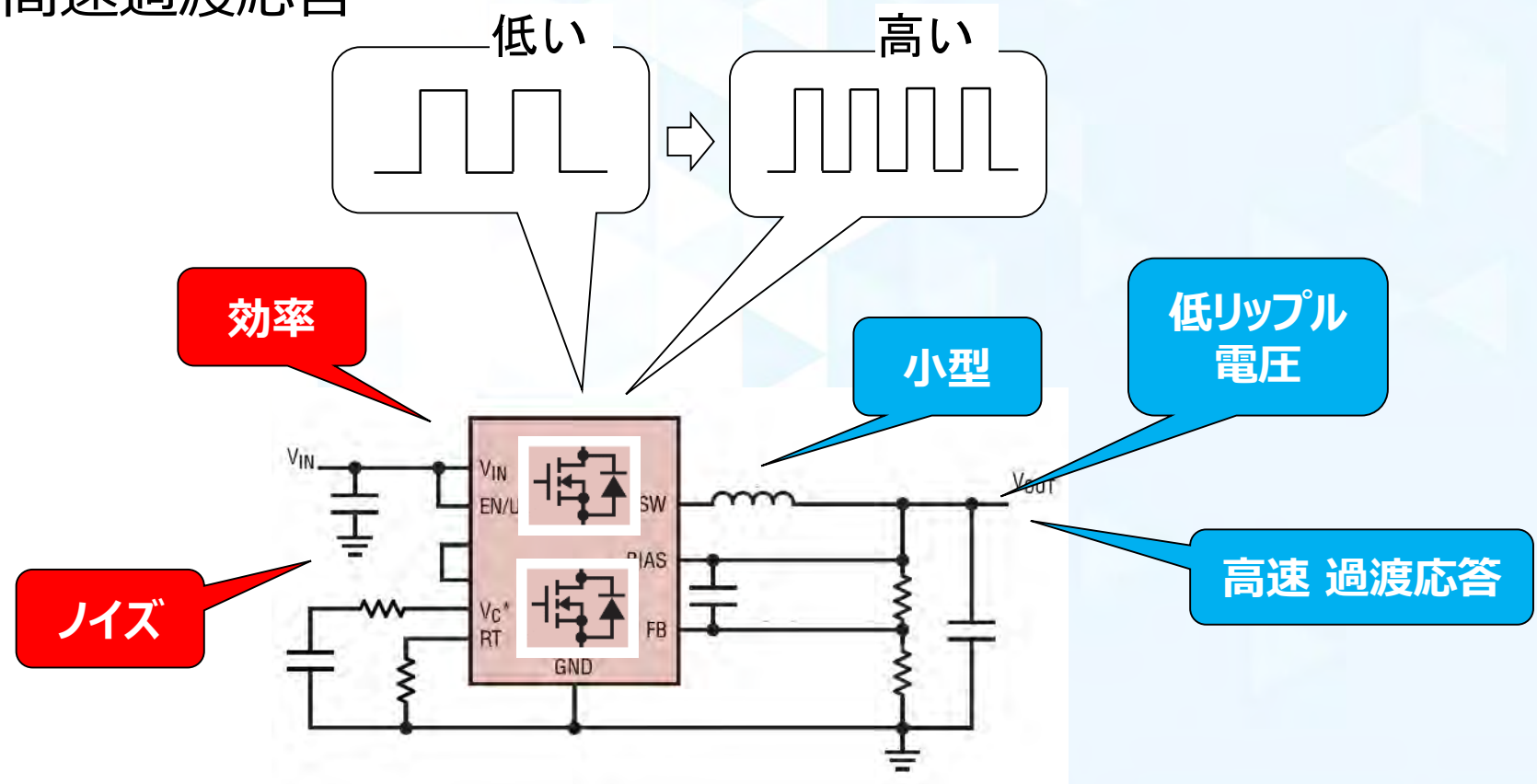
高いスイッチング周波数

●メリット

小型, 低 V_{out} リップル, 高速過渡応答

●デメリット

効率 (熱), ノイズ

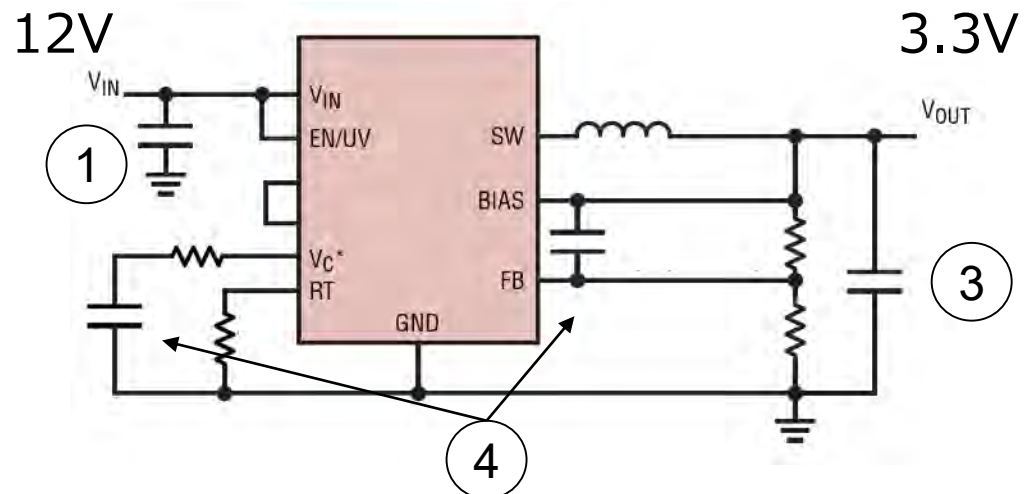


アジェンダ

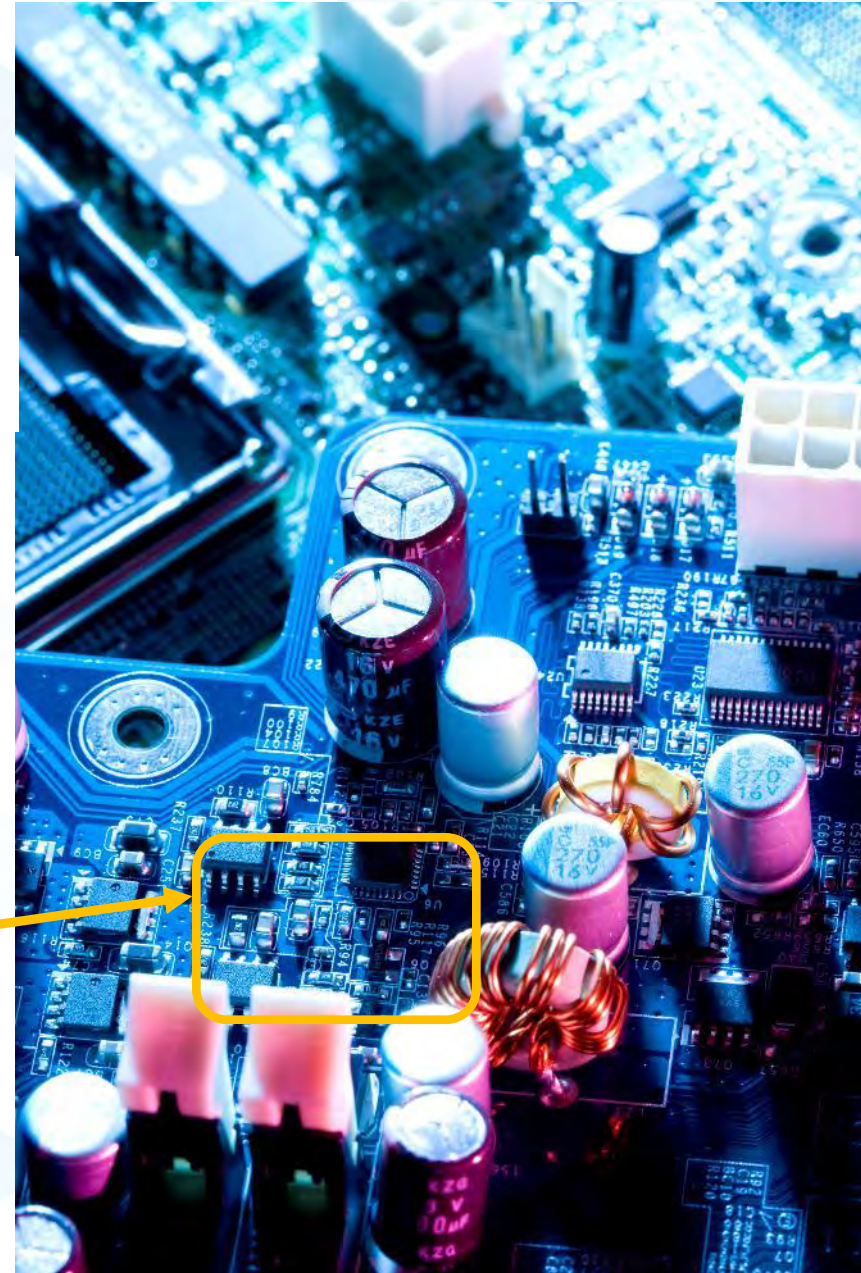
スイッチング電源に使われるコンデンサ

- 1) 入力コンデンサ
- 2) バイパスコンデンサ
- 3) 出力コンデンサ
- 4) 補償用コンデンサ

Silent Switcher のメリット紹介

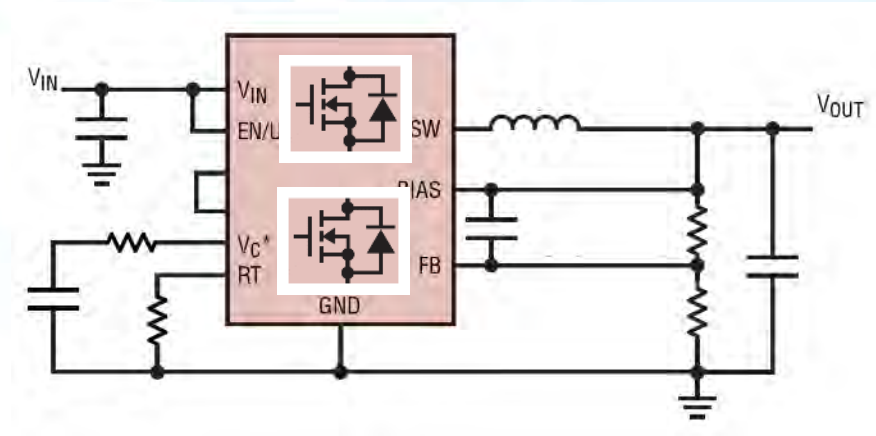
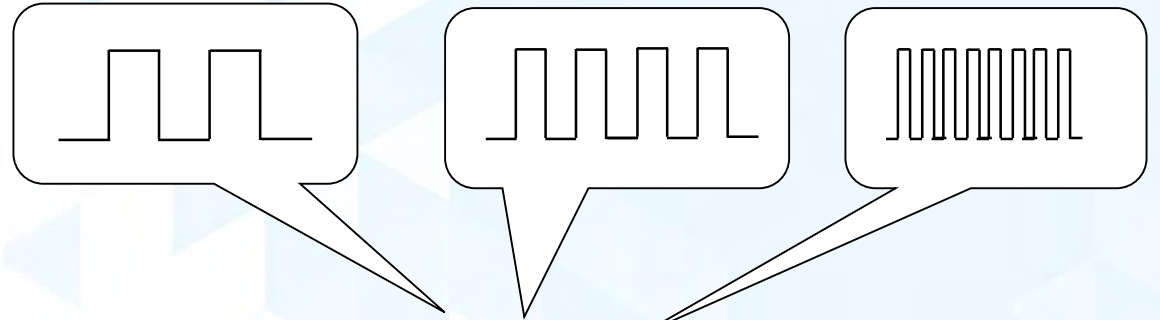
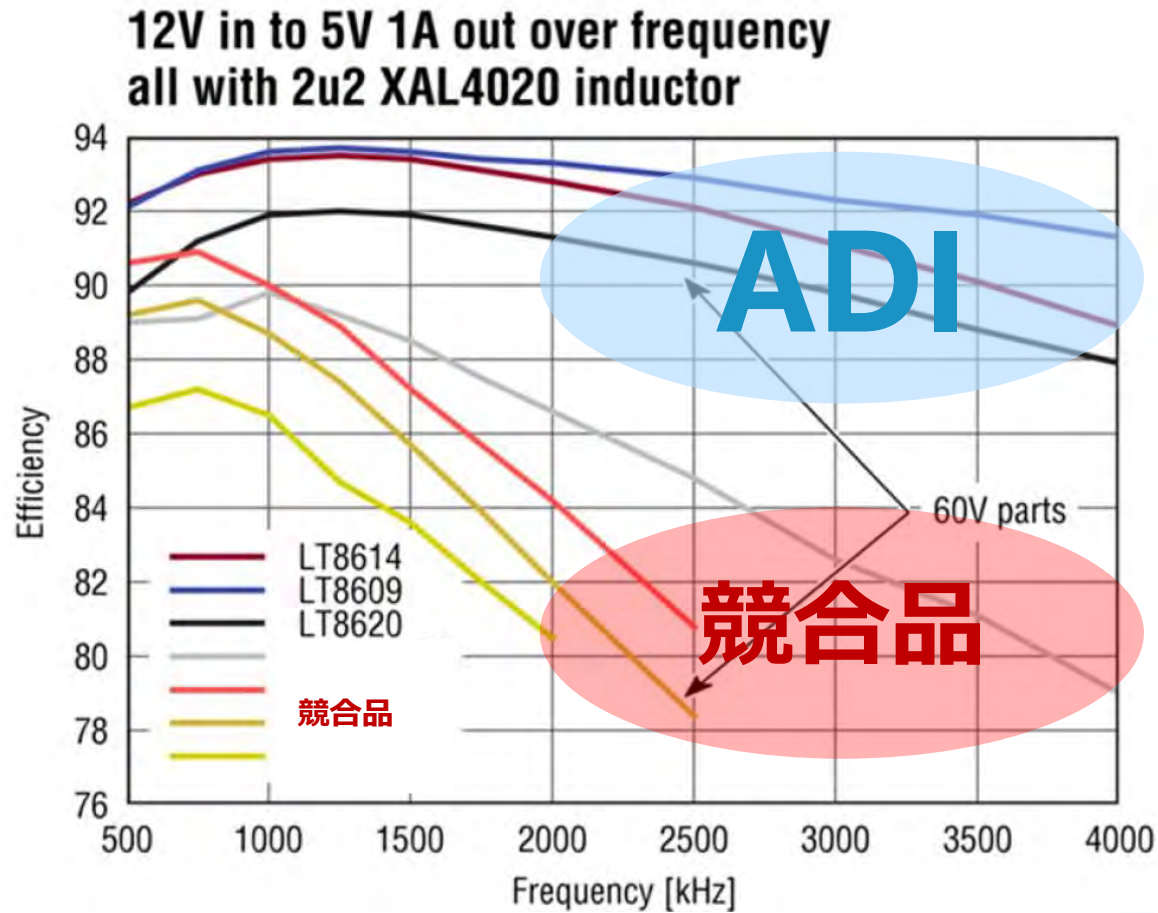


2



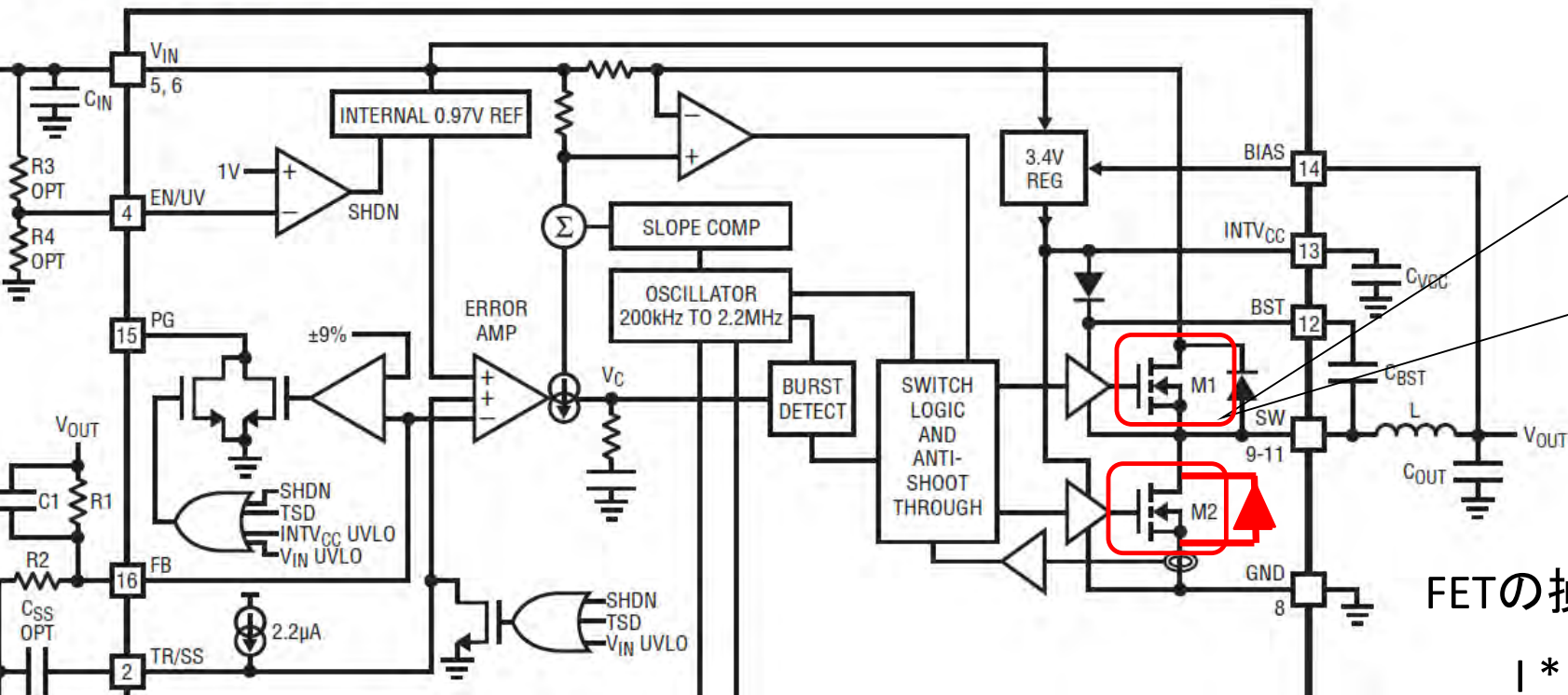
Silent Switcherの紹介

高いスイッチング周波数／デメリット， 効率



高いスイッチング周波数／デメリット，効率

LOCK DIAGRAM

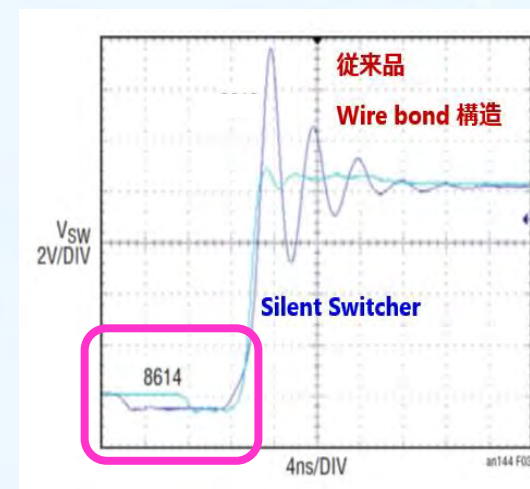


FETの損失

$$I * I * R_{ds(on)}$$

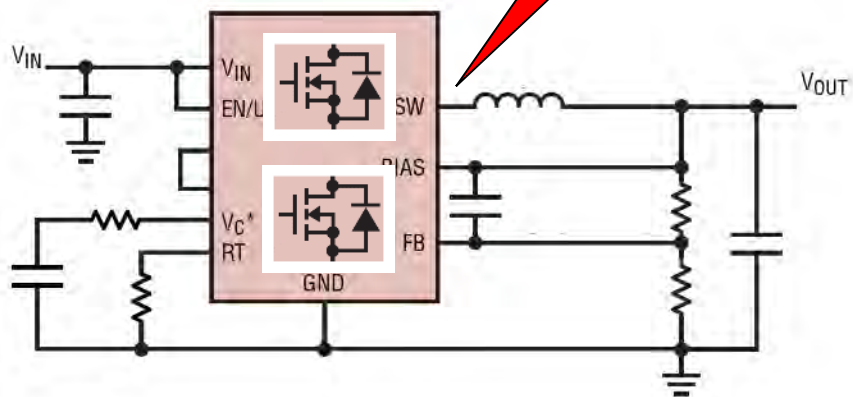
ダイオードの損失

$$I * V_f$$

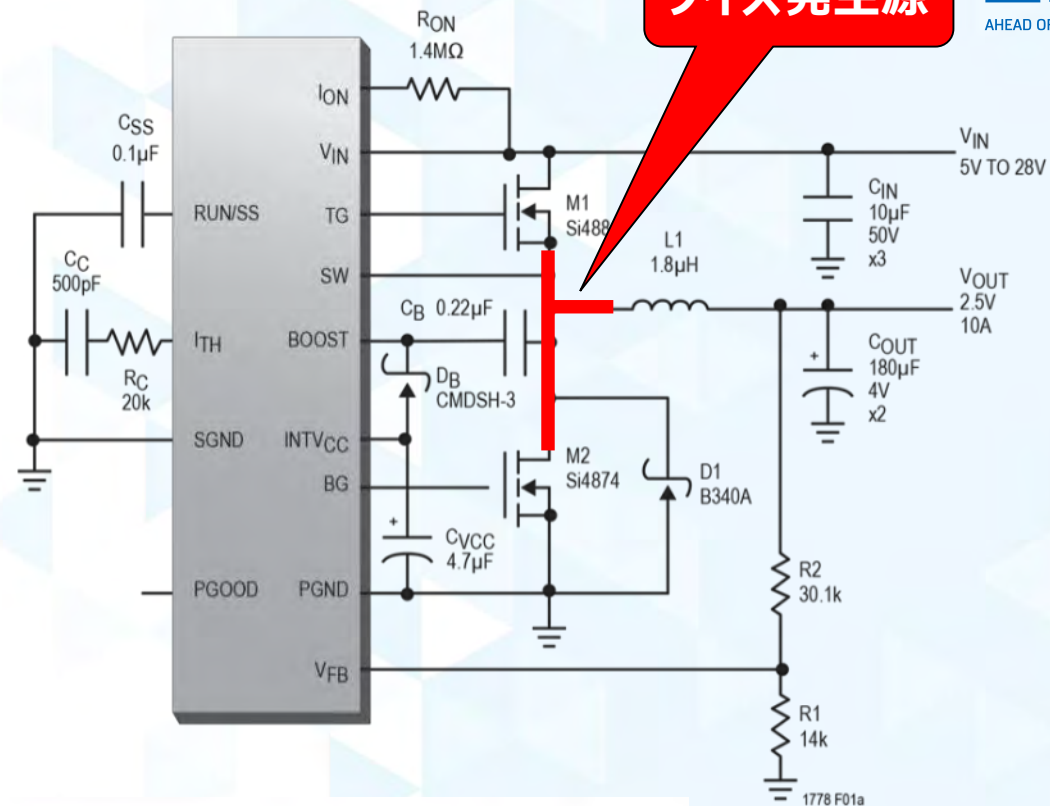


ノイズ (SWノード)

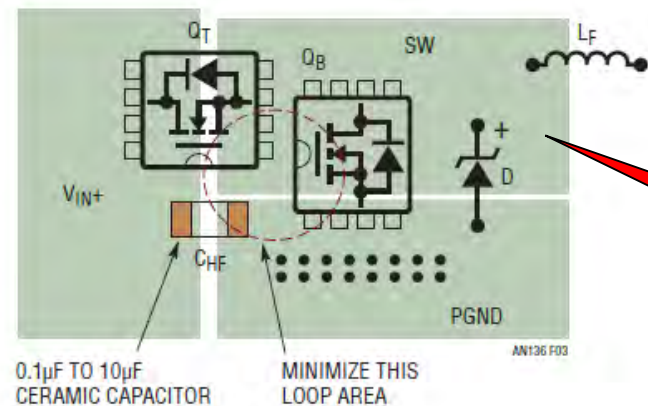
ノイズ発生源



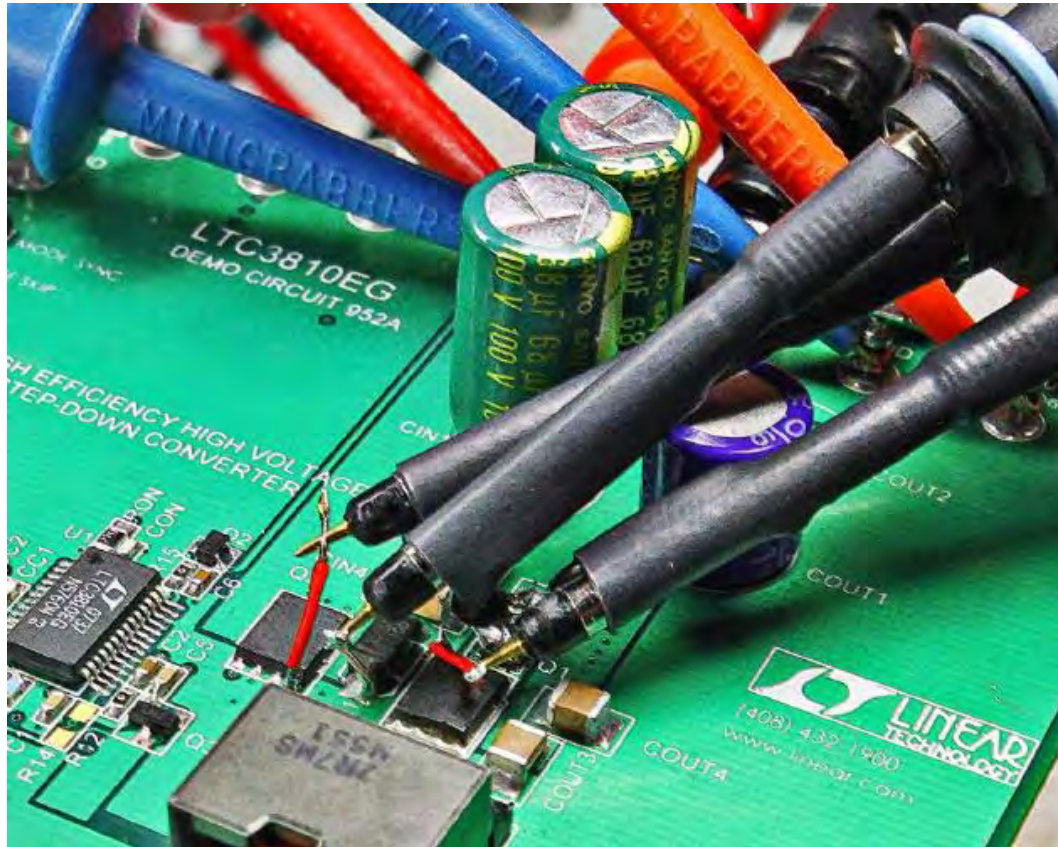
ノイズ発生源



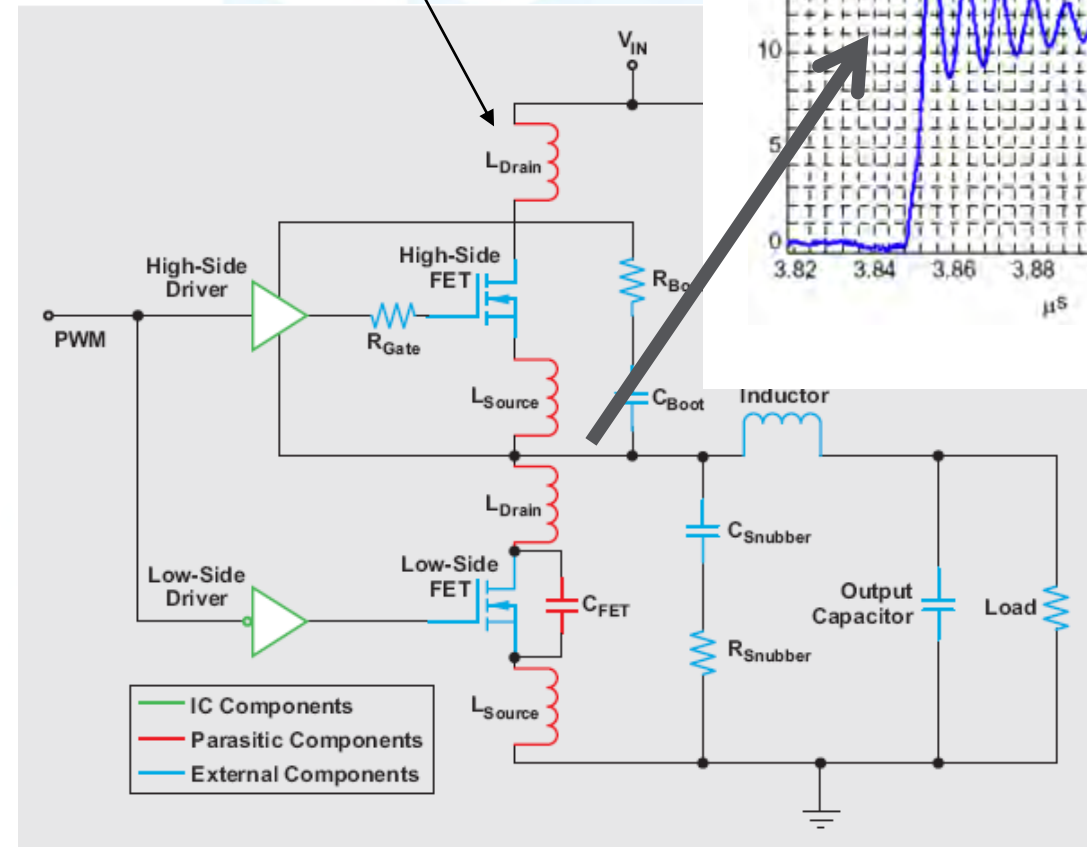
ノイズ発生源



ノイズ (SWノード リンギング)

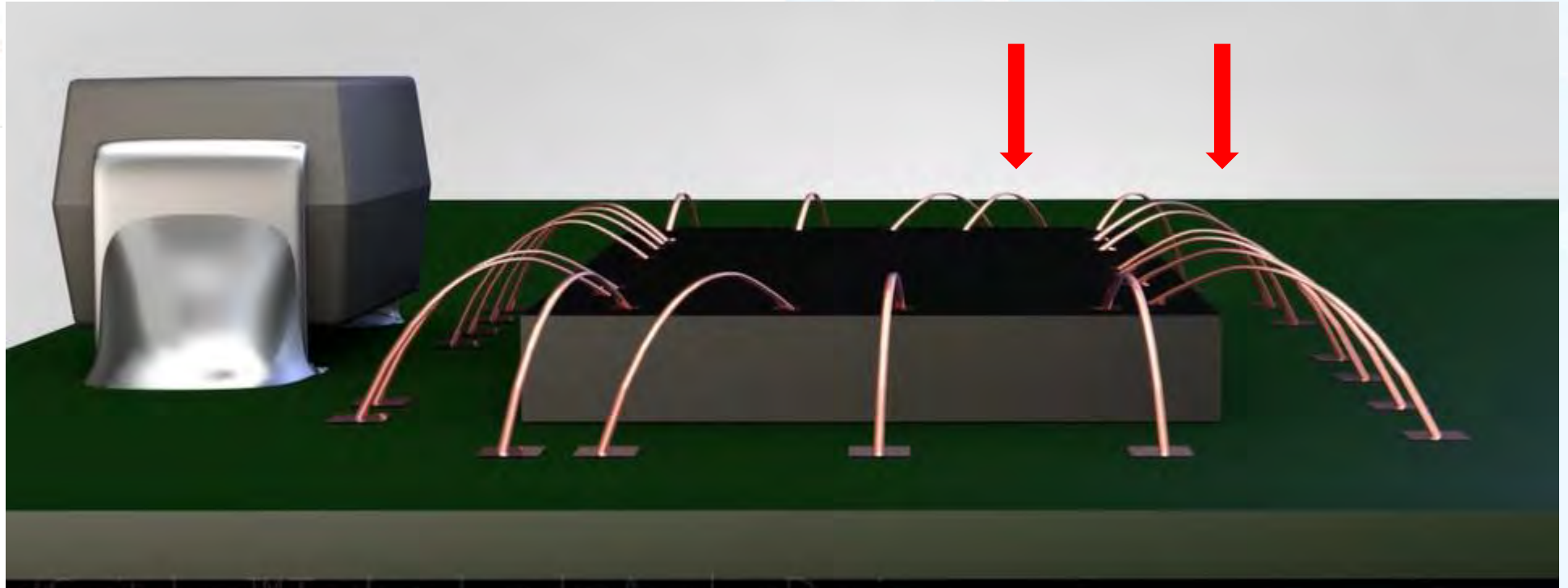
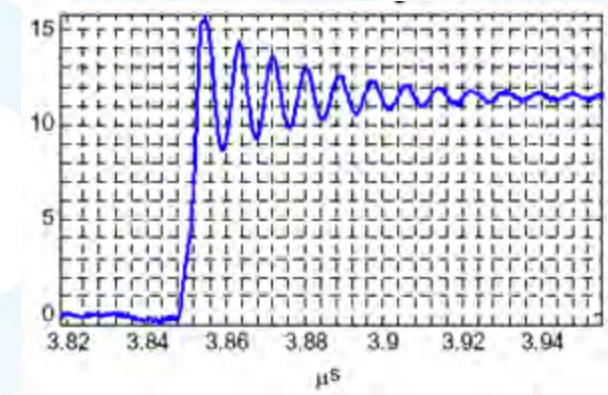
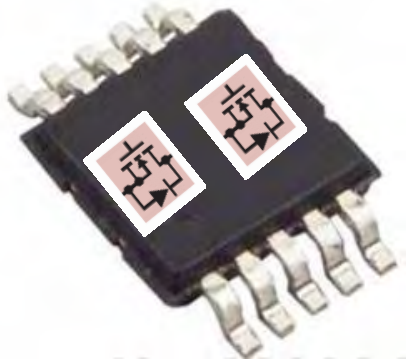


寄生インダクタンス



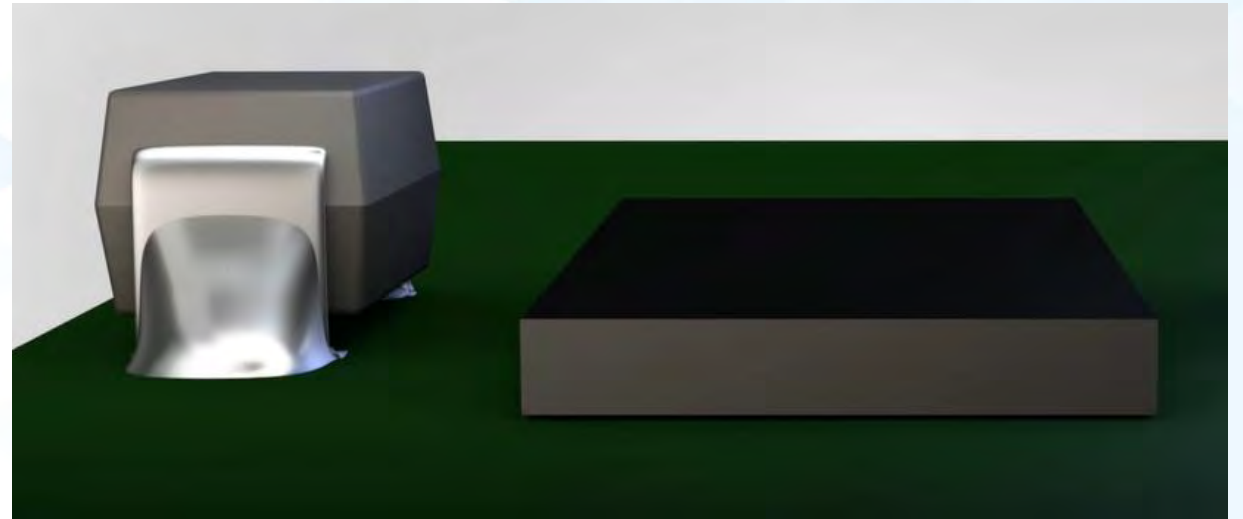
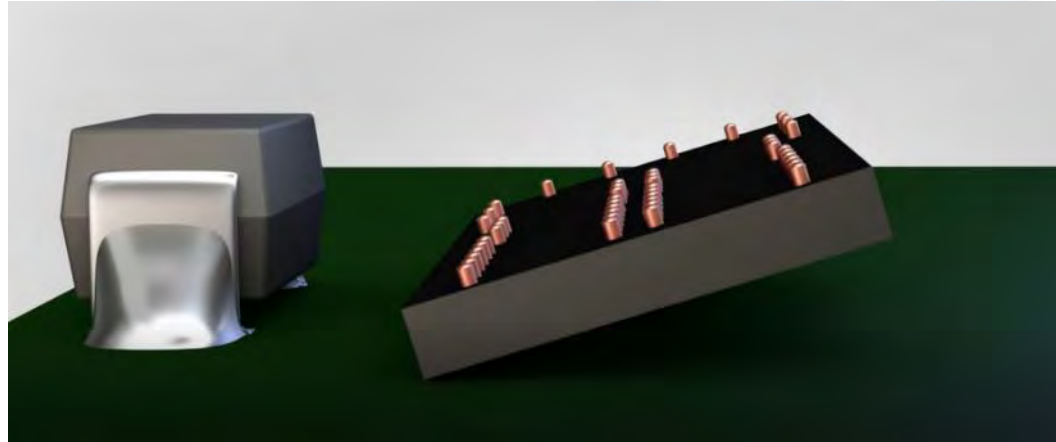
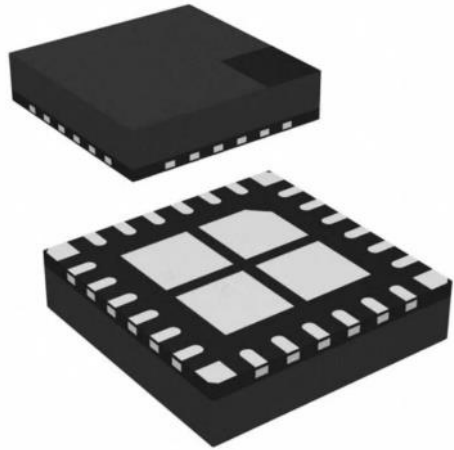
ノイズ (SWノード リンギング)

従来品



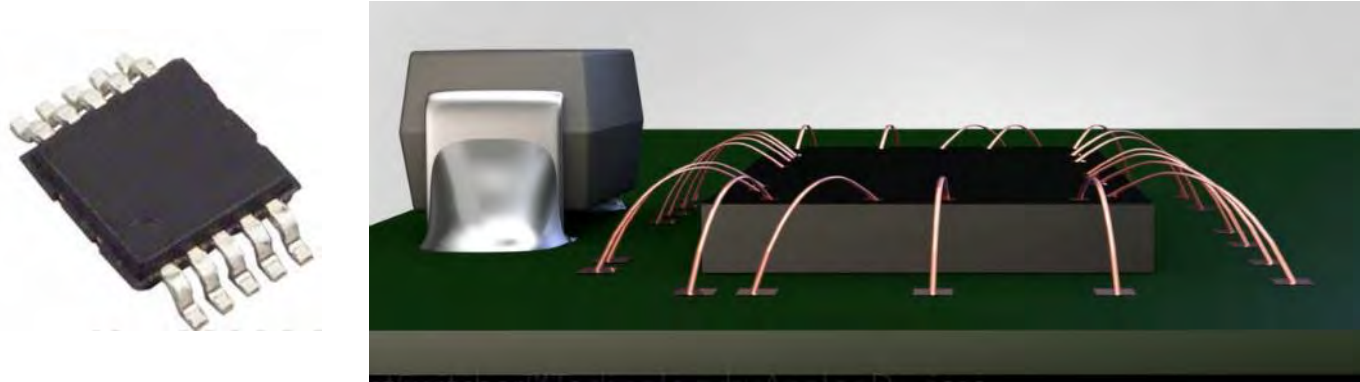
ノイズ (SWノード リンギング)

Silent switcher

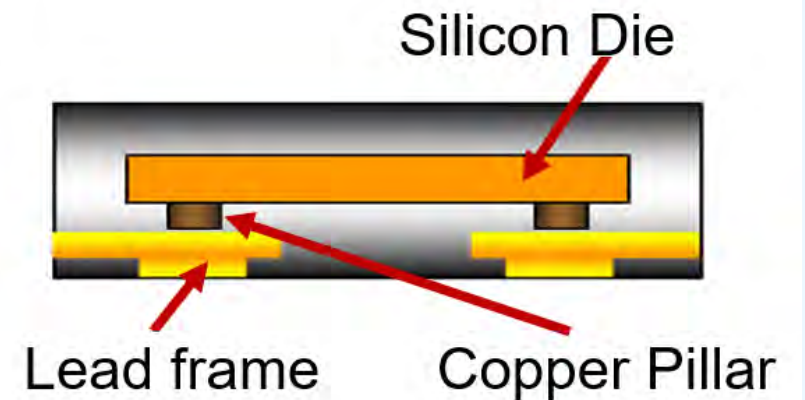
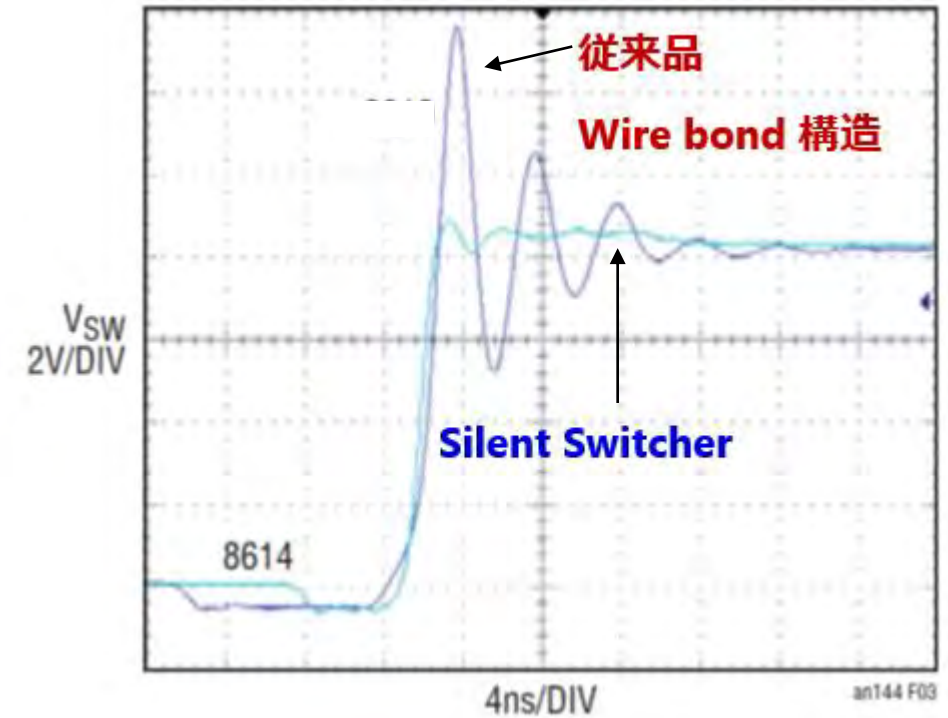
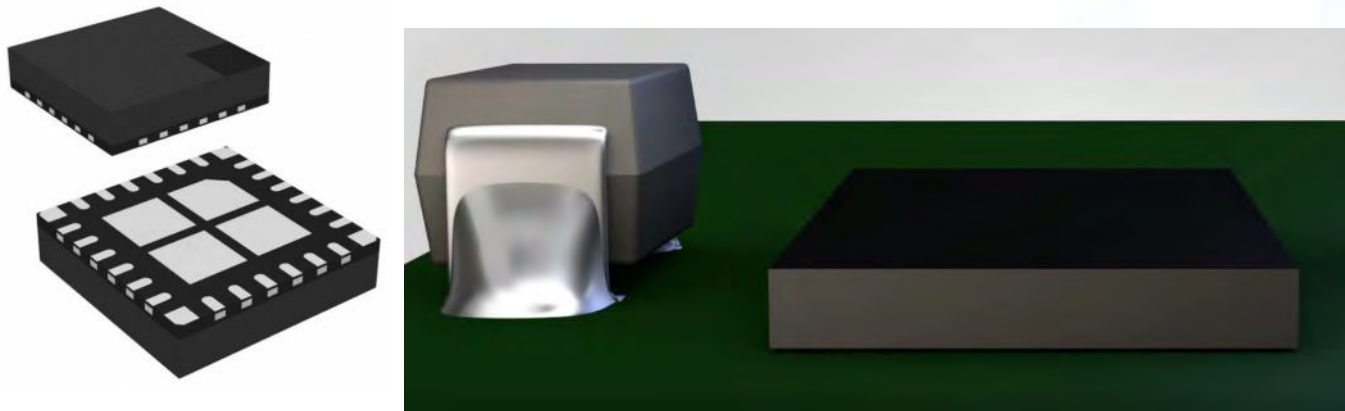


ノイズ (SWノード リンギング)

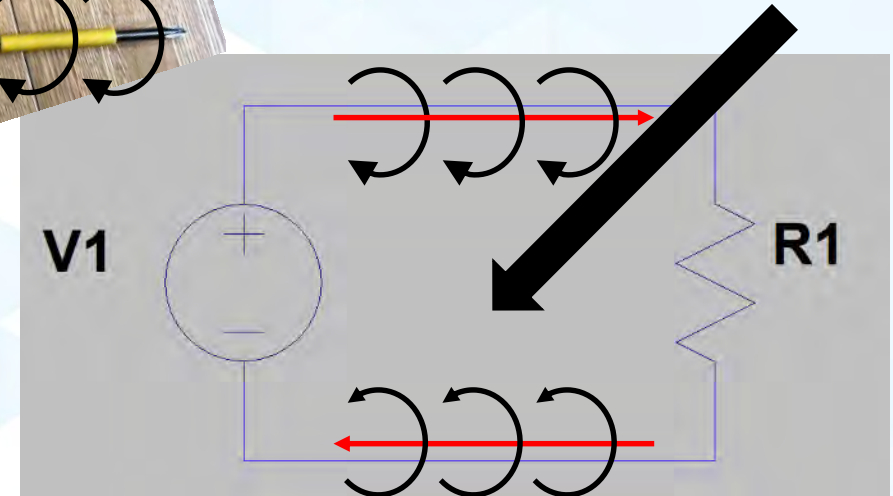
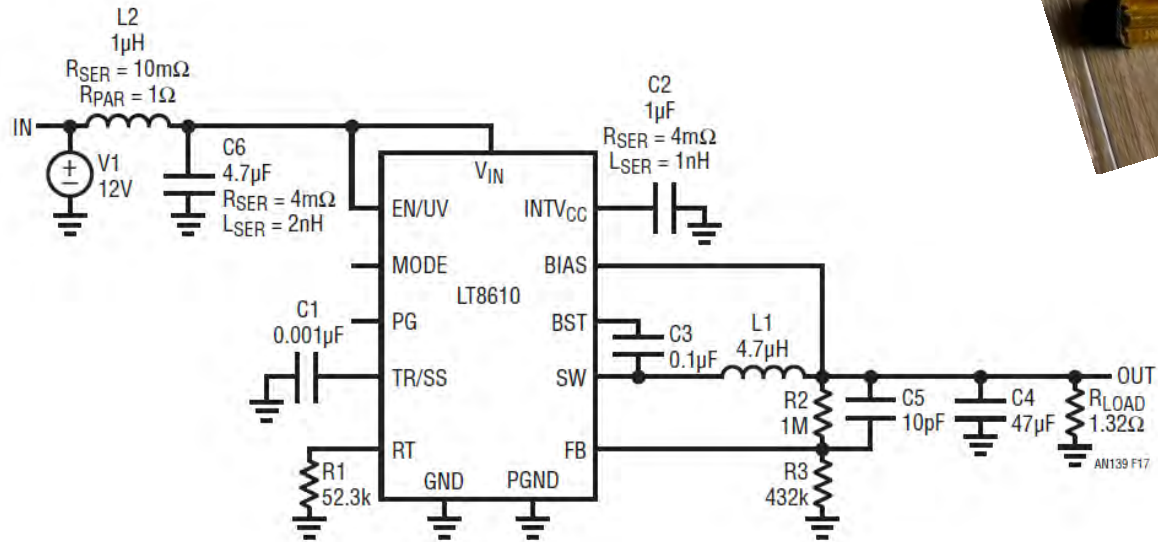
従来品



Silent Switcher

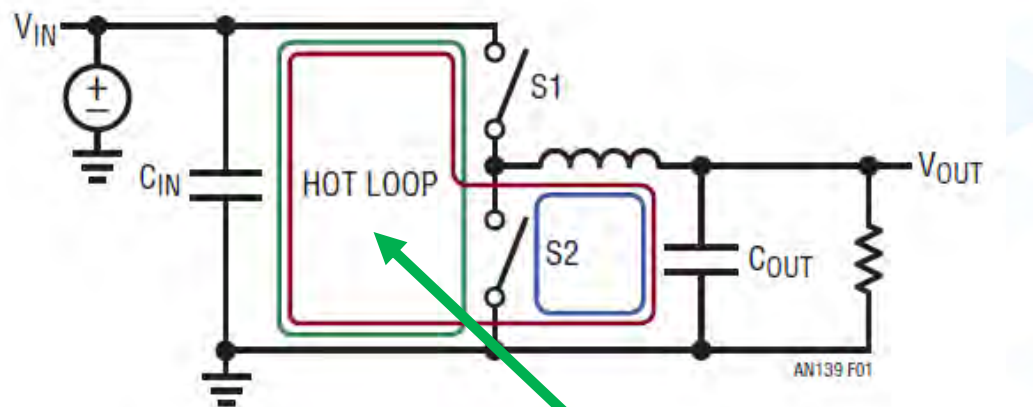


ノイズ (ホットループ)

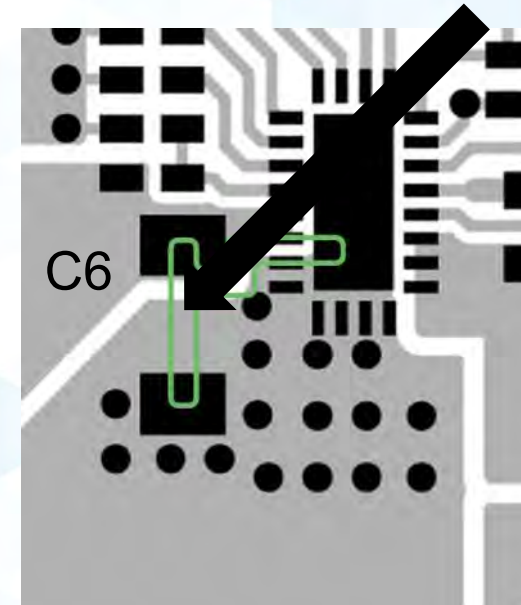


(物理法則)

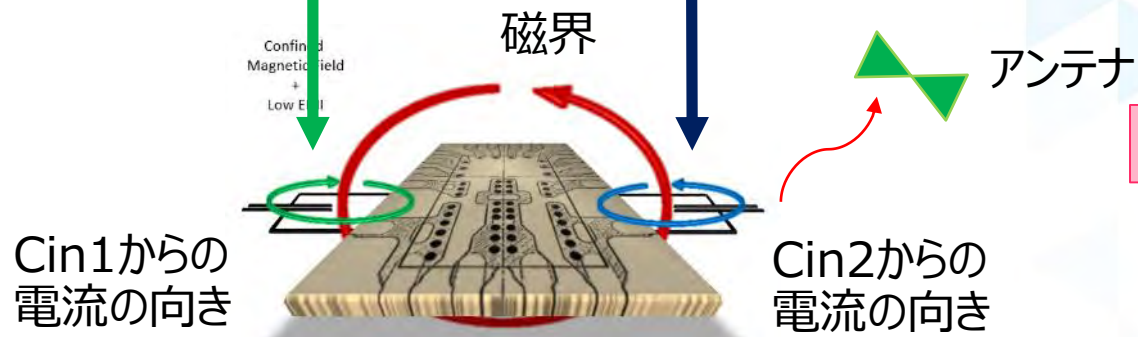
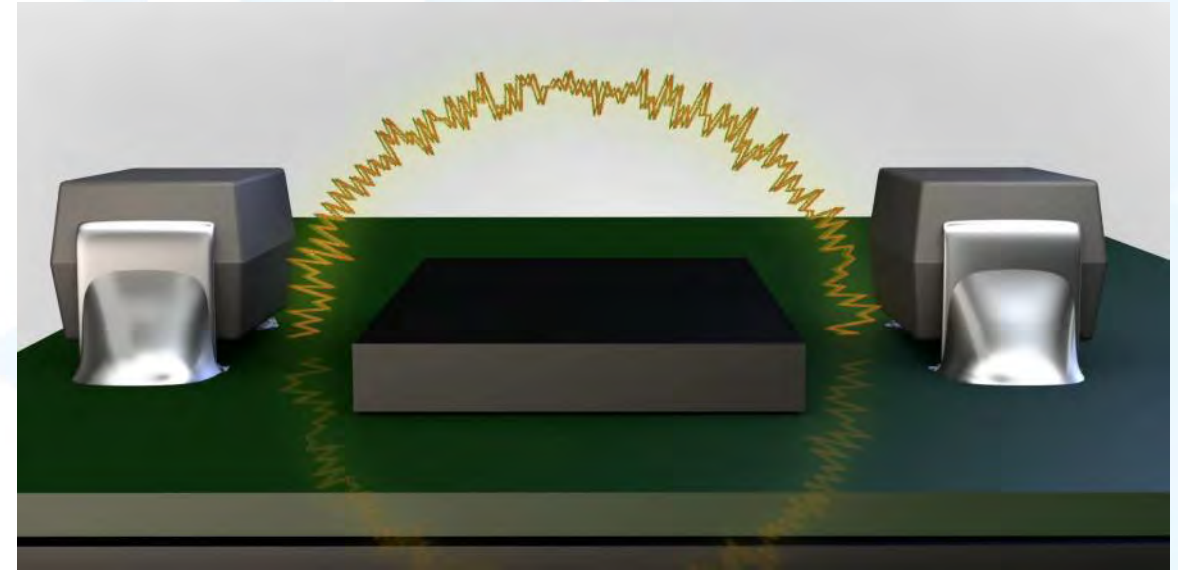
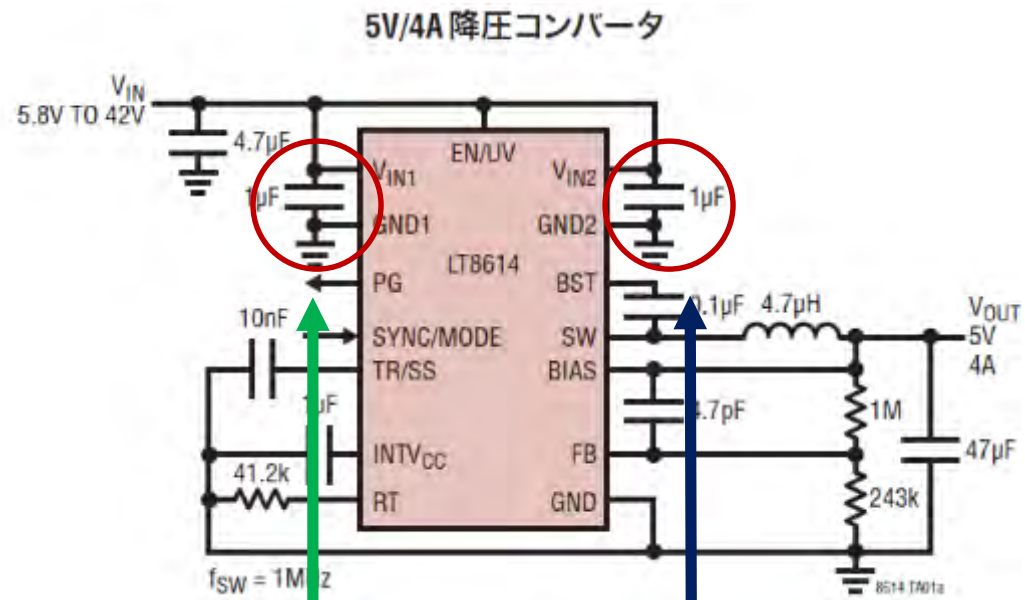
右ねじの進む向きに
磁界が発生する



小さいループにしたい

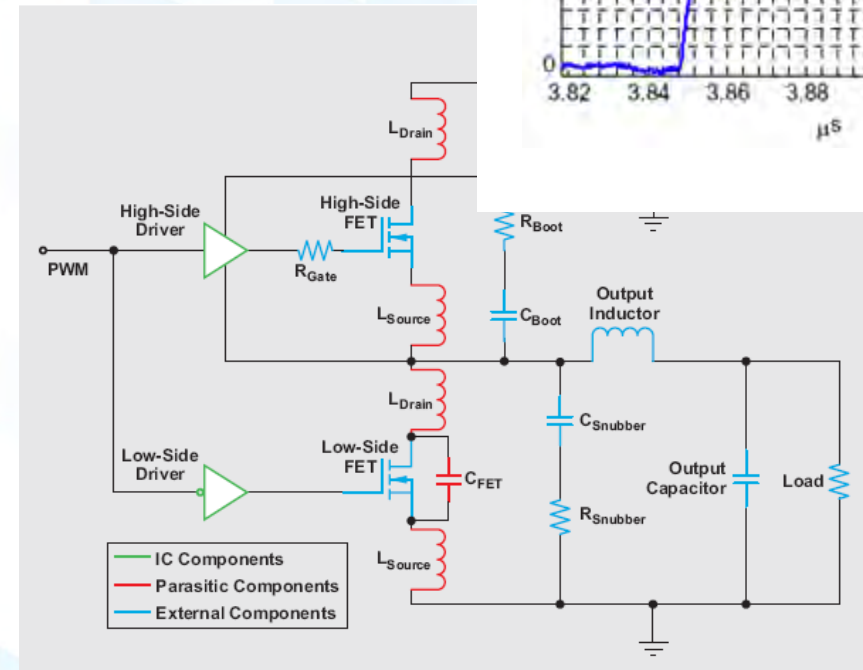
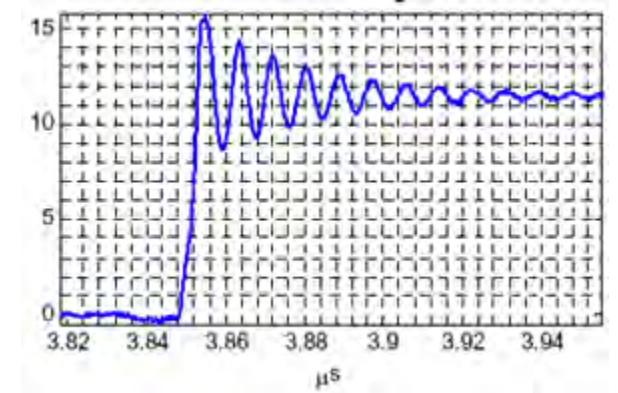
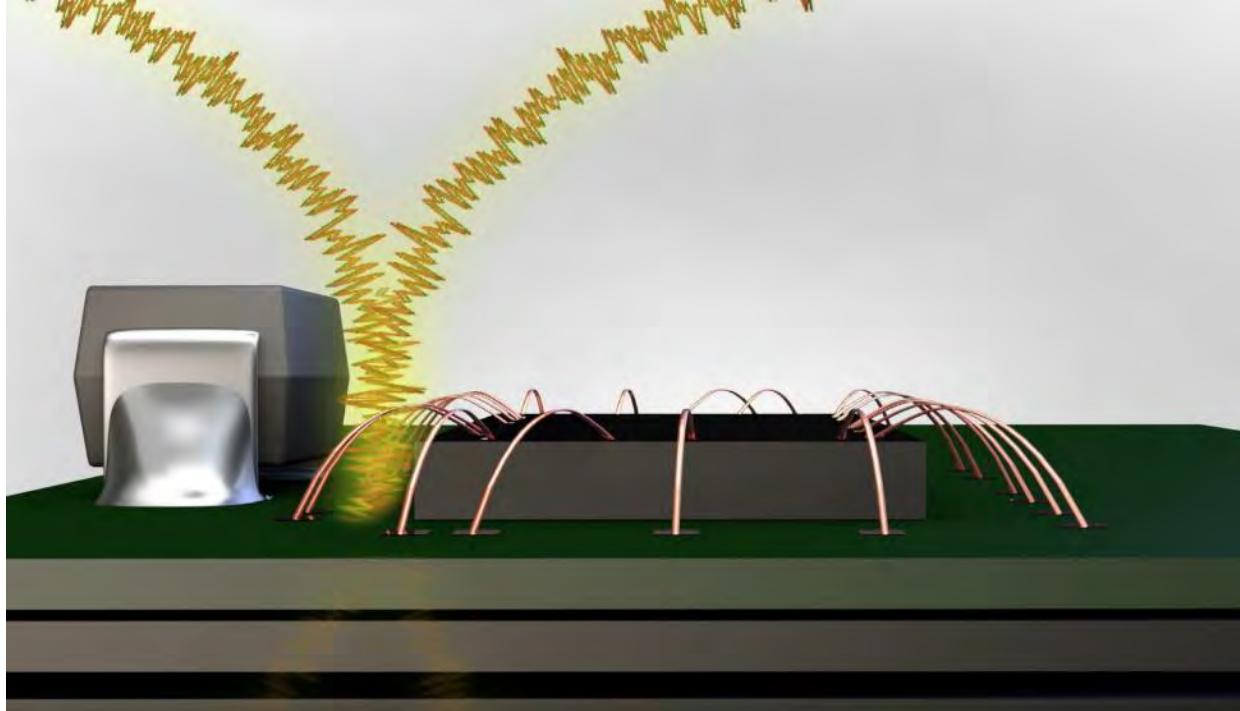


ノイズ (ホットループ)

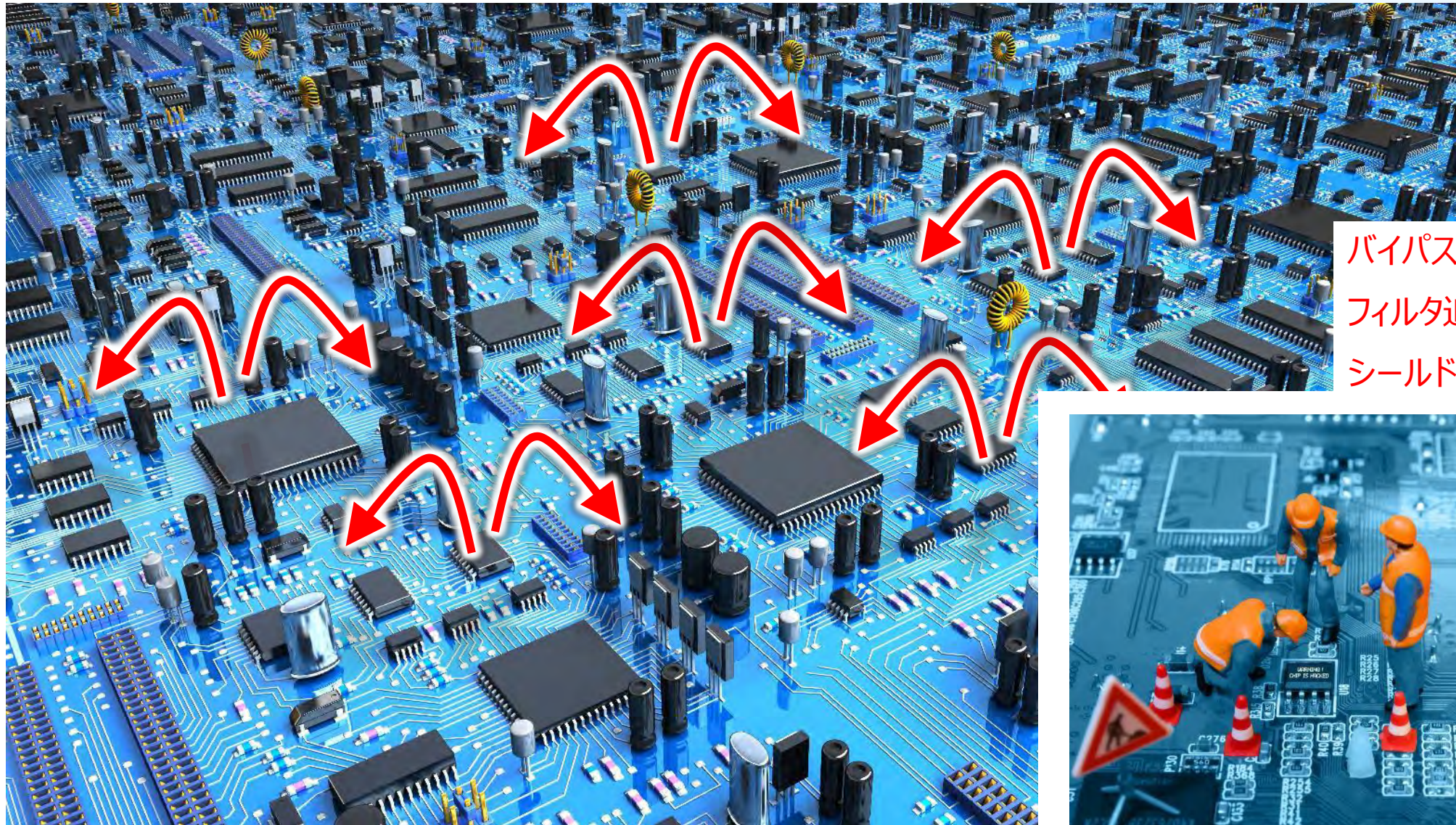


外部へ向かう放射ノイズは非常にわずか

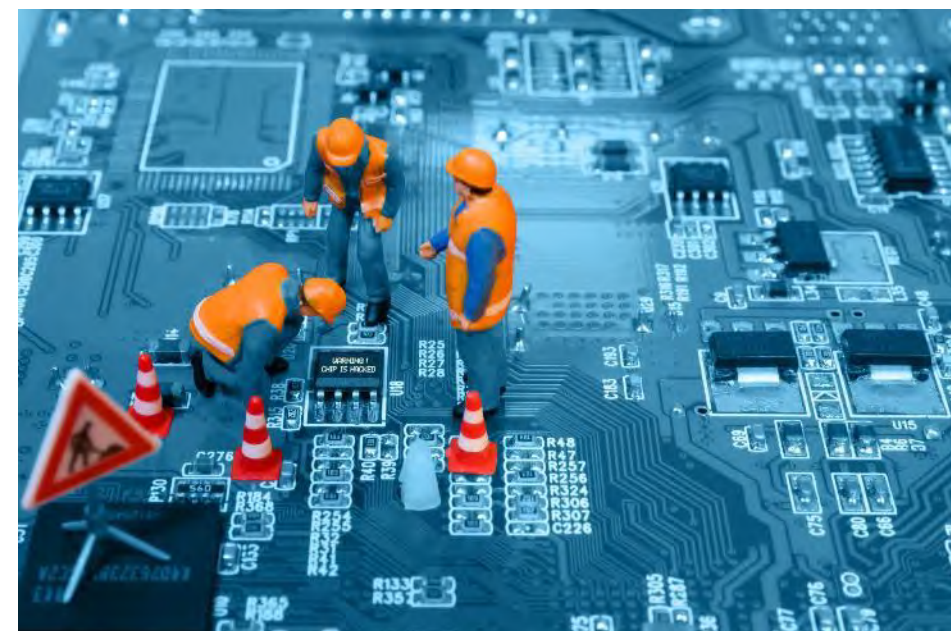
旧製品 (ノイズ)



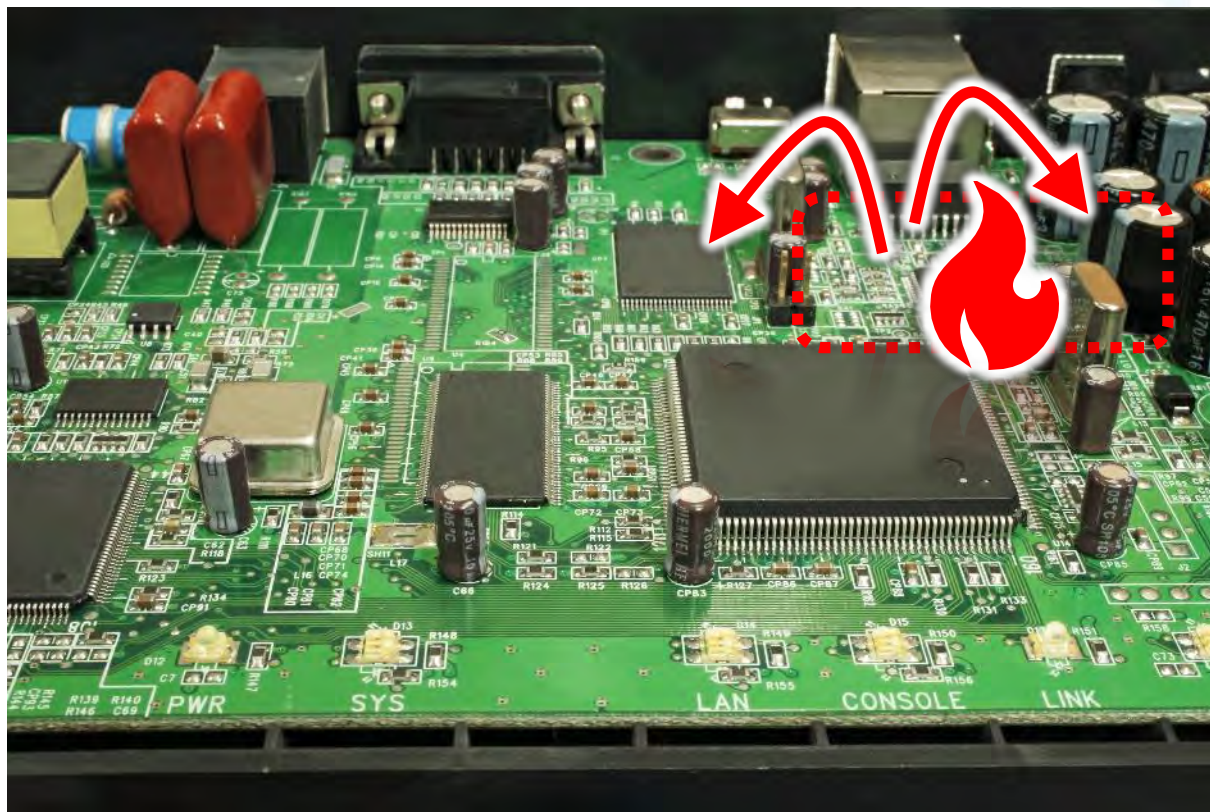
旧製品 (ノイズ)



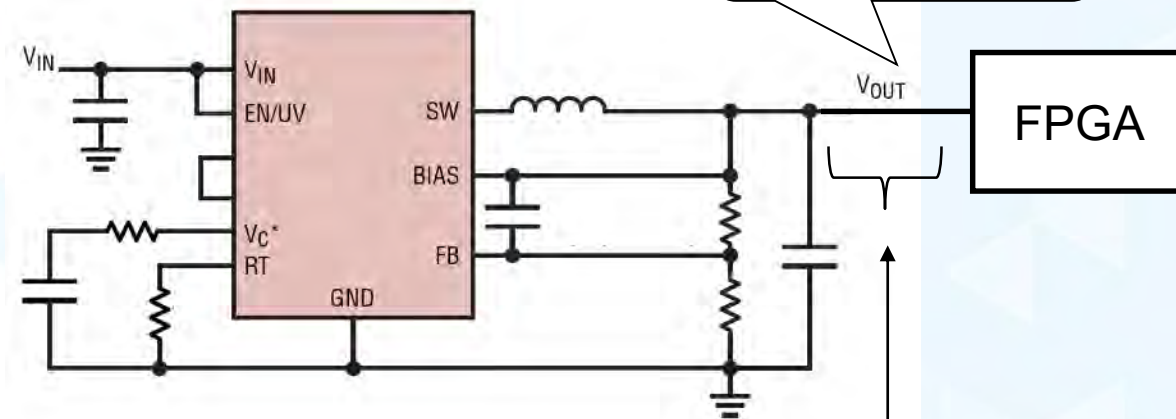
バイパスコンデンサ追加
フィルタ追加
シールド追加



電源は近くに配置する必要がある



1V +/-3%



6.24mΩ (18.98nH)

6.24mΩ * 10A = 62.4mV

ノイズ 熱 高速過渡応答 小型 素直

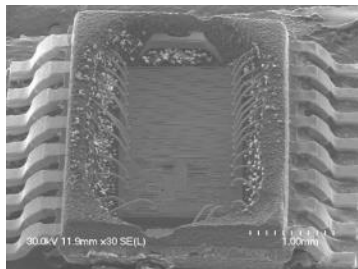
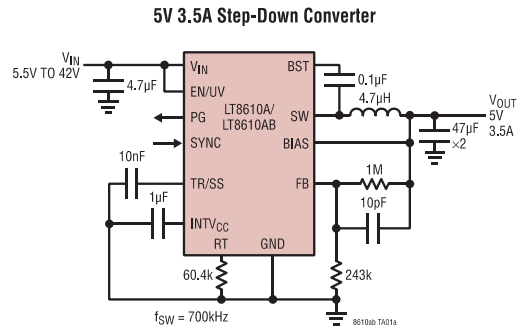
パターン長さ : 25.4mm

パターン幅 : 2mm

銅箔厚み : 35um のとき

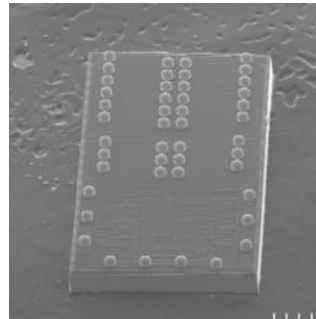
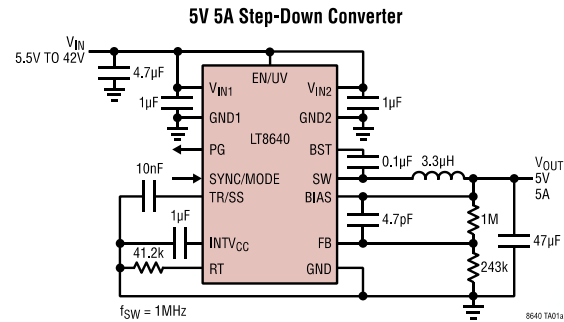
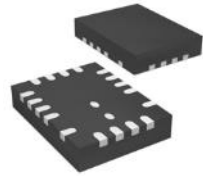
進化の歴史

LT8610
MSOP-16



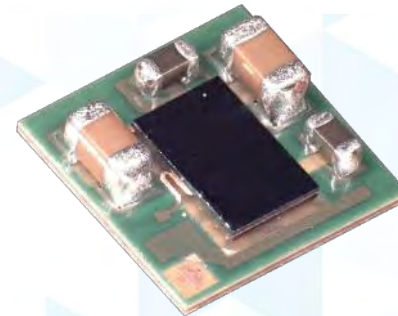
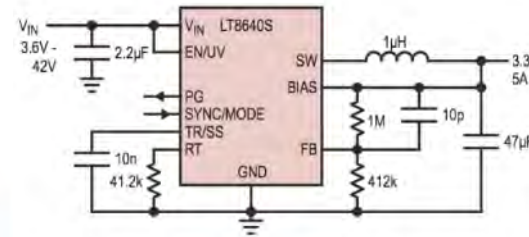
Silent Switcher 1

LT8640
3 x 4 QFN

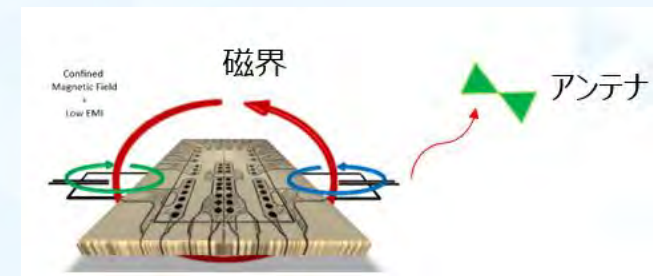
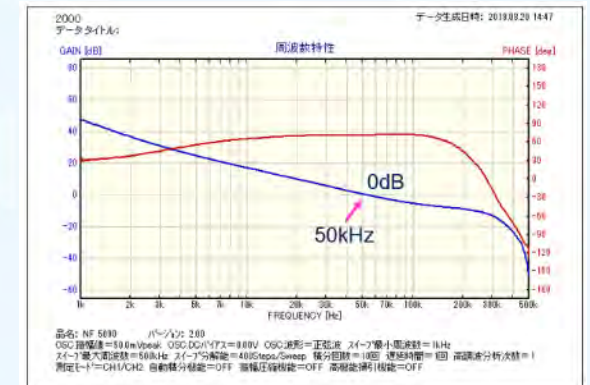
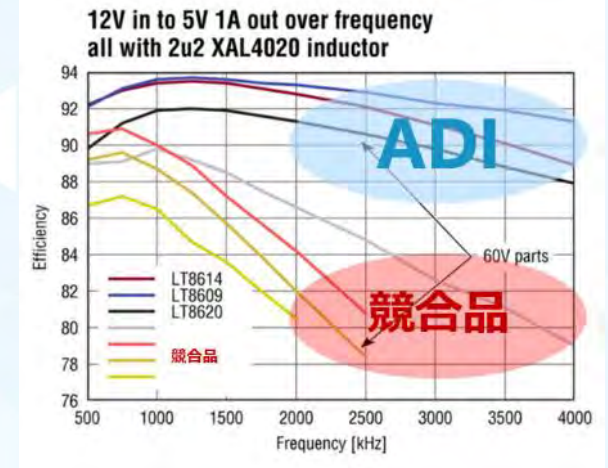


Silent Switcher 2

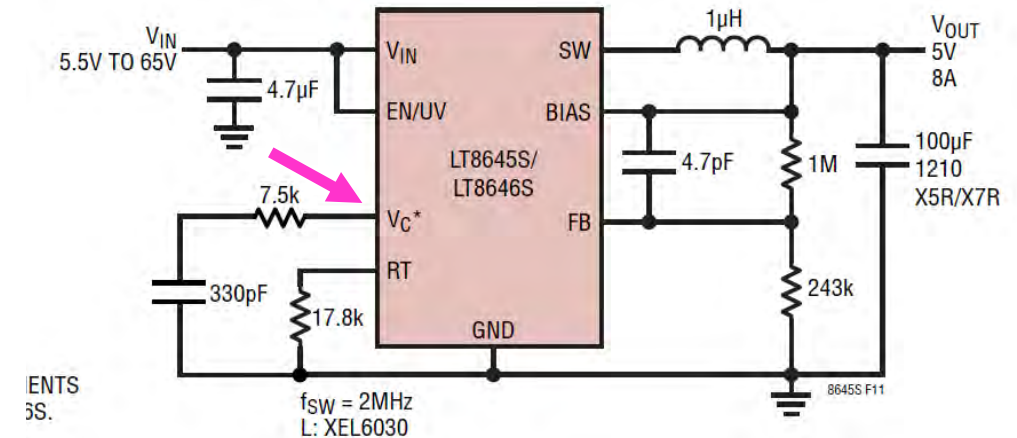
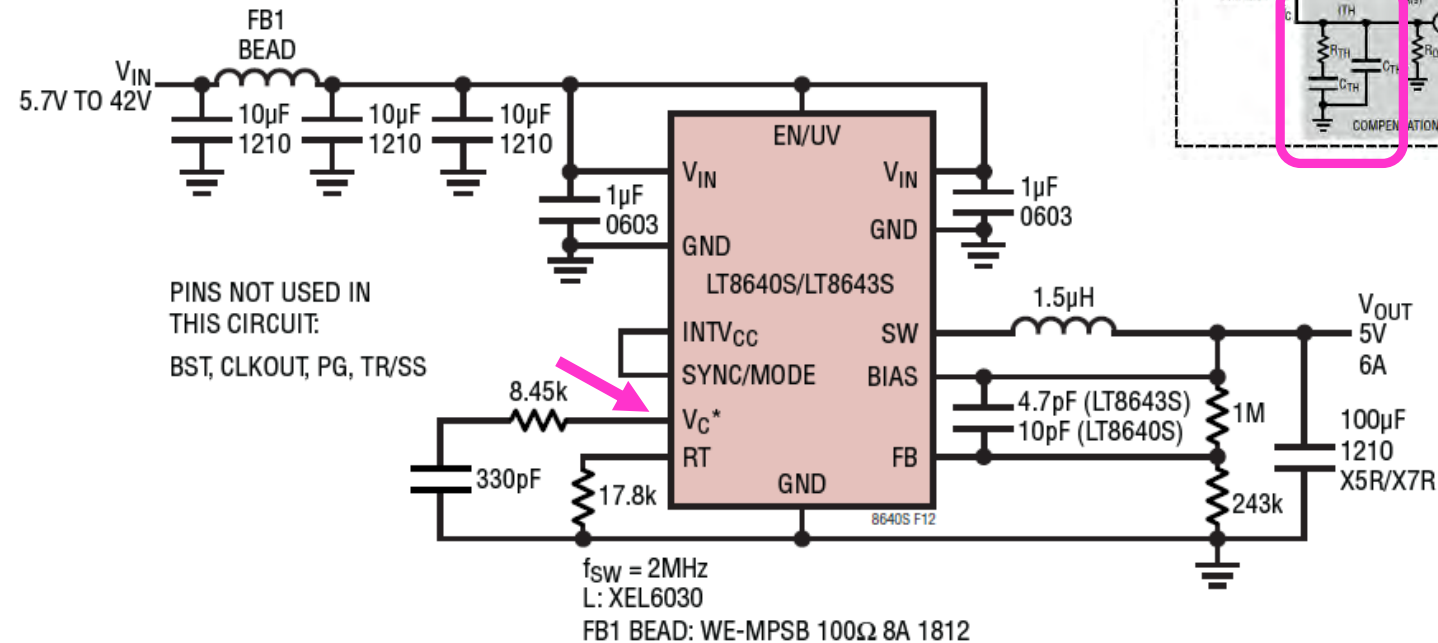
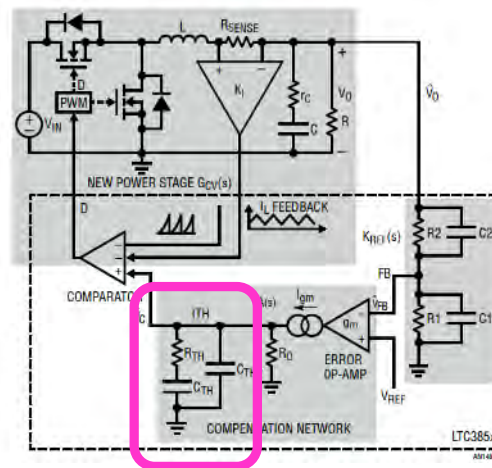
LT8640S
4 x 4 LQFN
(BT laminate LGA)



Cin内蔵
さらに低ノイズ



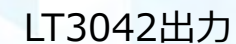
ラインナップ (一例)



42V, 6A 降圧コンバータ	位相補償ピン (Vc)
LT8640S	なし
LT8643S	あり

65V, 8A 降圧コンバータ	位相補償ピン (Vc)
LT8645S	なし
LT8646S	あり

**ANALOG
DEVICES**
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

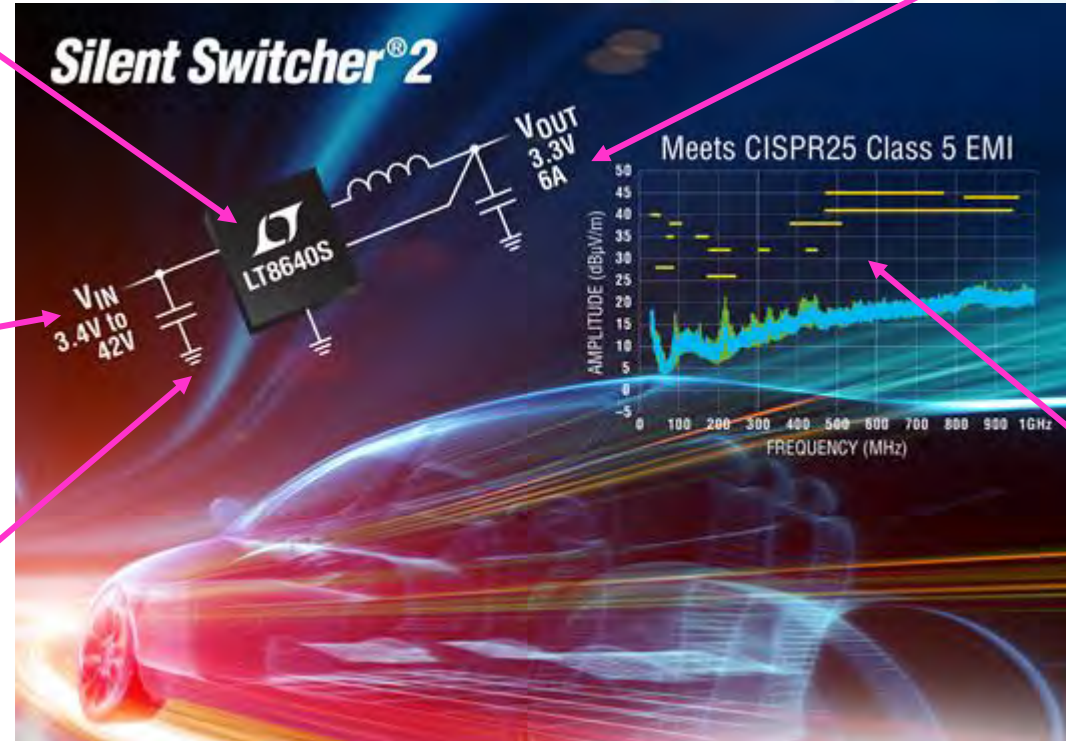


簡単チェックリスト

- スイッチング周波数を高くしたときの効率は？（最大周囲温度でのジャンクション温度は？）
- 入出力コンデンサの数と容量は？

- 入出力フィルタの回路規模は？
（C,Lの数）

- 回路トータルのサイズは小さい？



- EMIは規格をパスするか？