

スイッチング電源における ノイズ抑制の取り組み

アナログ・デバイセズ

色川 健美



Agenda

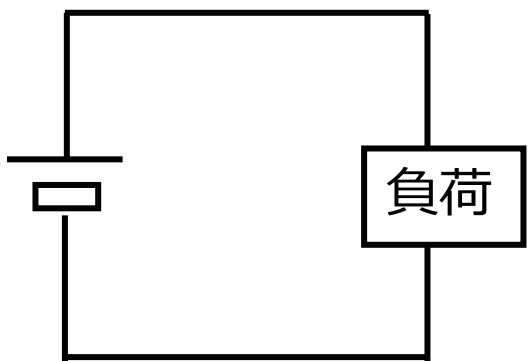
- ▶ ノイズの基本的な発生メカニズム
- ▶ これまでのノイズ抑制技術
- ▶ ホットループの概念
- ▶ Silent Switcher®(サイレント・スイッチャ)テクノロジー

Agenda

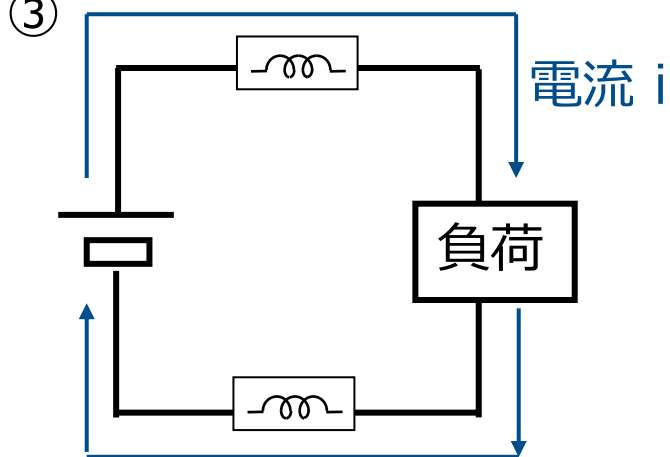
- ▶ **ノイズの基本的な発生メカニズム**
- ▶ これまでのノイズ抑制技術
- ▶ ホットループの概念
- ▶ Silent Switcher®(サイレント・スイッチャ)テクノロジー

ノイズの基本的な発生メカニズム

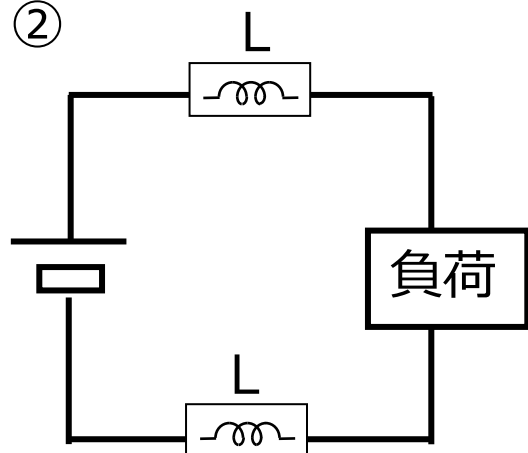
①



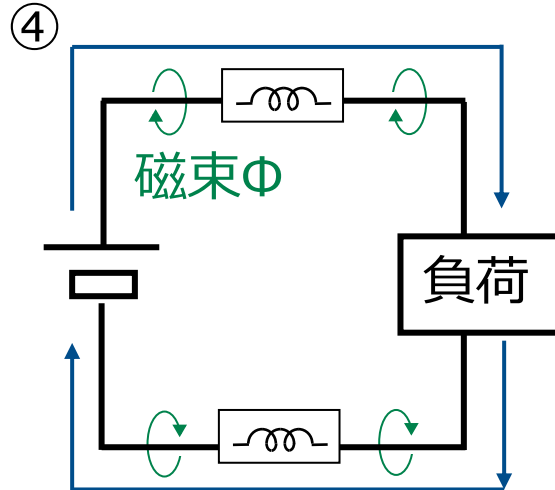
③



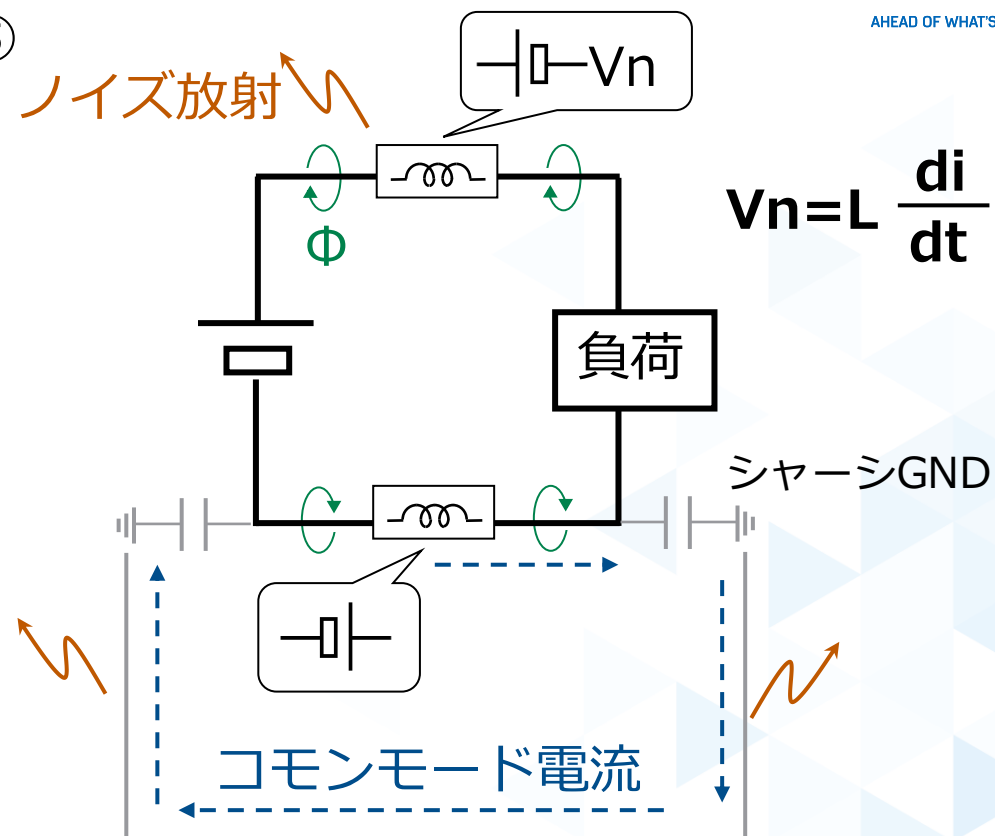
②



④

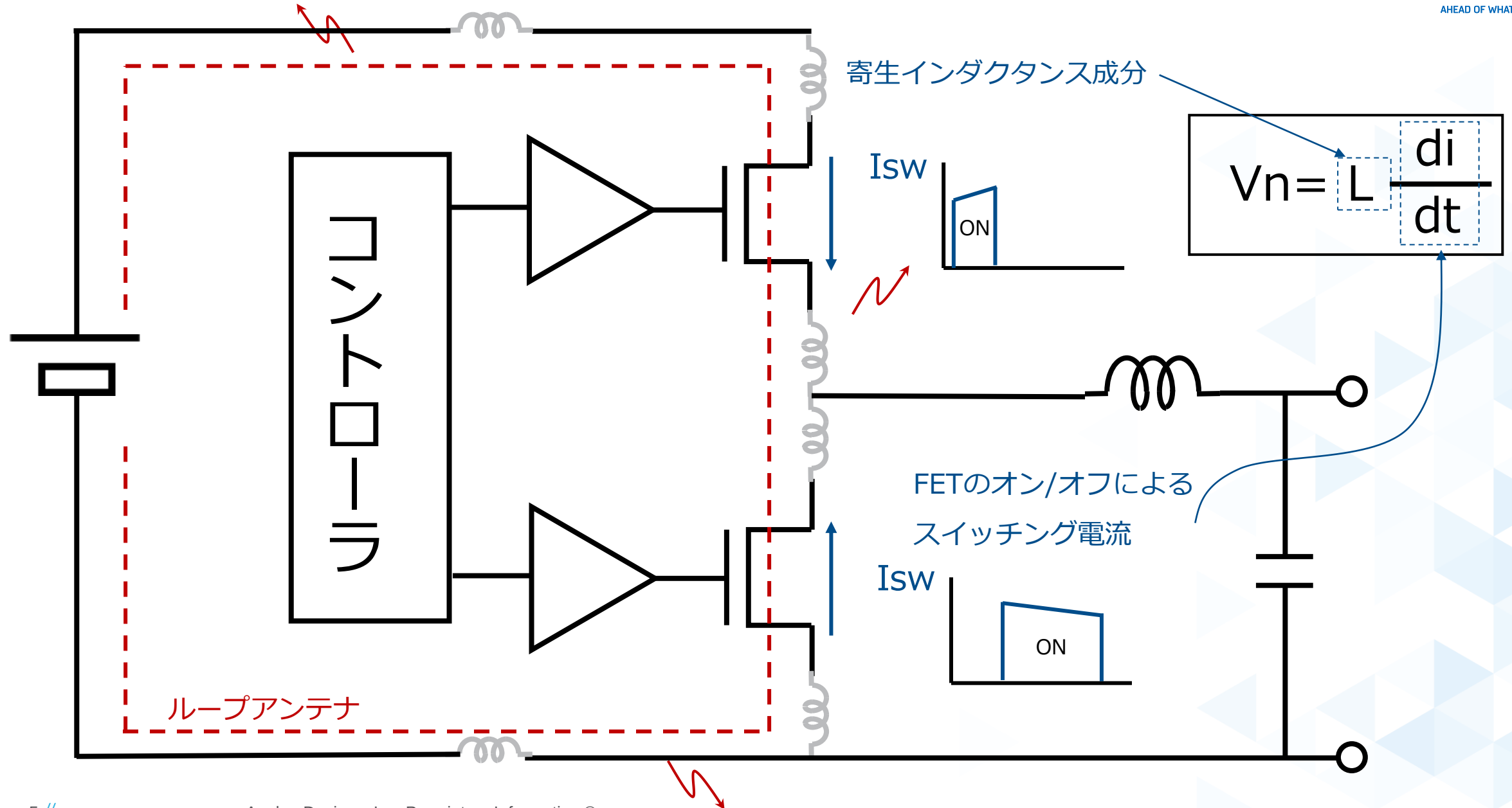


⑤



- ・ Φ を抑える方向に起電圧が発生
⇒ 一部が磁界となって空間へ放射
- ・ コモンモード電流も誘起
⇒ シャーシGND経由でノイズ放射

スイッチング電源におけるノイズ発生源（降圧電源の例）



電流の大きさではなく、電流の変化量が重要

$$V_n = L \frac{di}{dt}$$

スイッチング電源は本質的に

$$\frac{di}{dt}$$

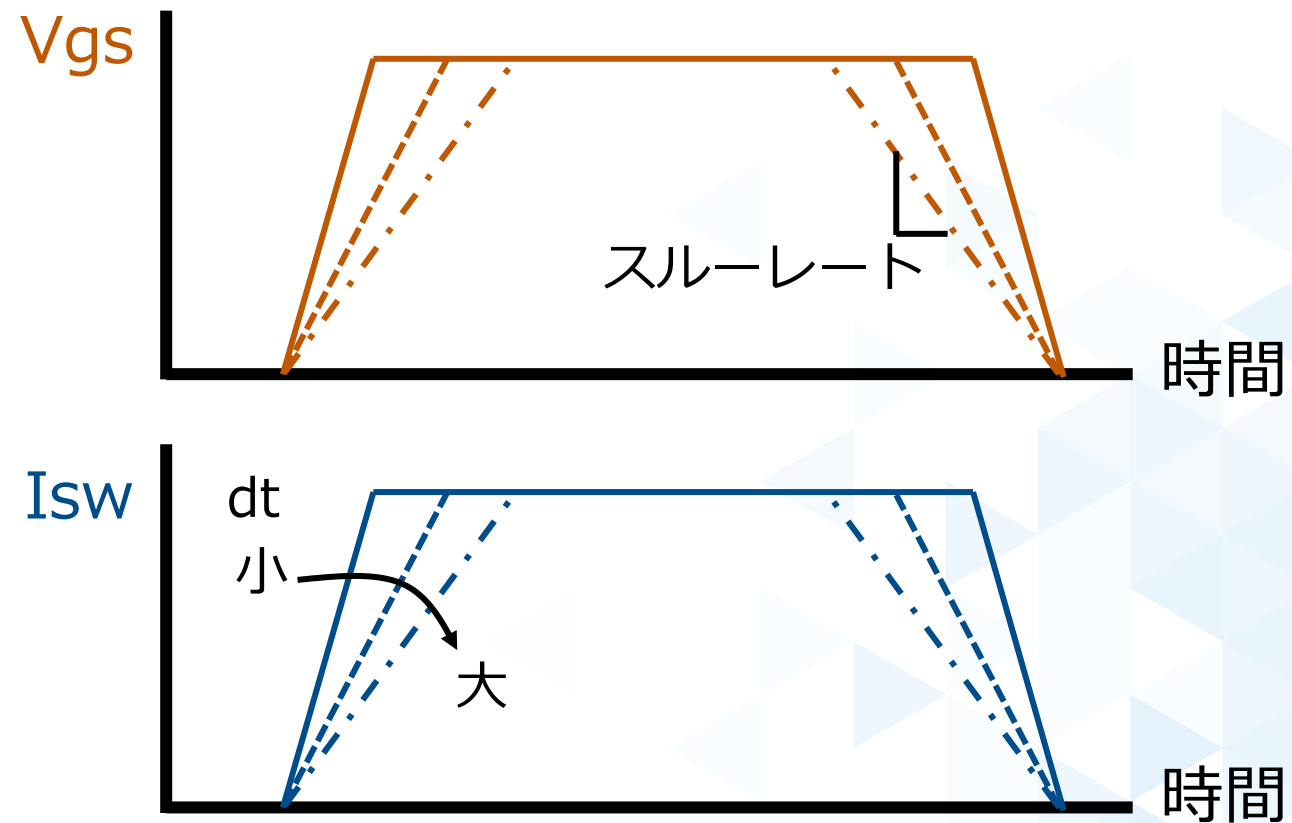
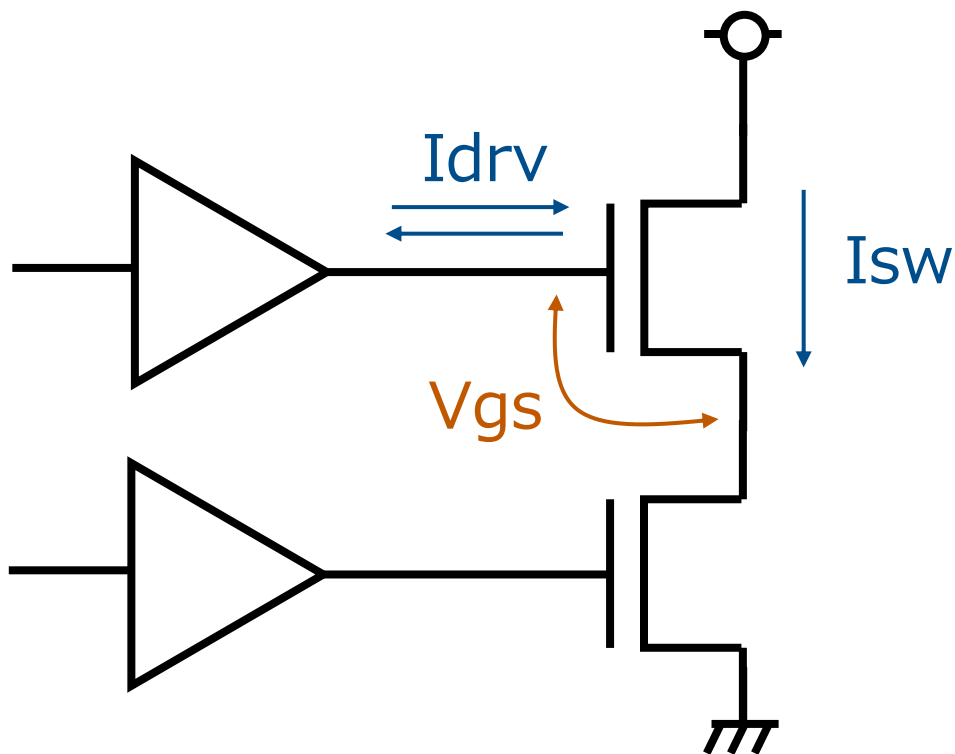
が大きい回路

L、di、dtの各パラメータを出来るだけ小さく(もしくは大きく)して V_n を小さくする。

Agenda

- ▶ ノイズの基本的な発生メカニズム
- ▶ **これまでのノイズ抑制技術**
- ▶ ホットループの概念
- ▶ Silent Switcher®(サイレント・スイッチャ)テクノロジー

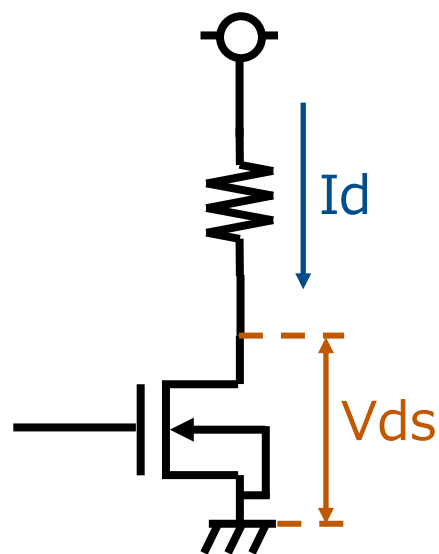
スルーレート制御



ゲートの立ち上がり/立下りを鈍らせことで
スイッチング電流の立ち上がり/立下りを遅くする。

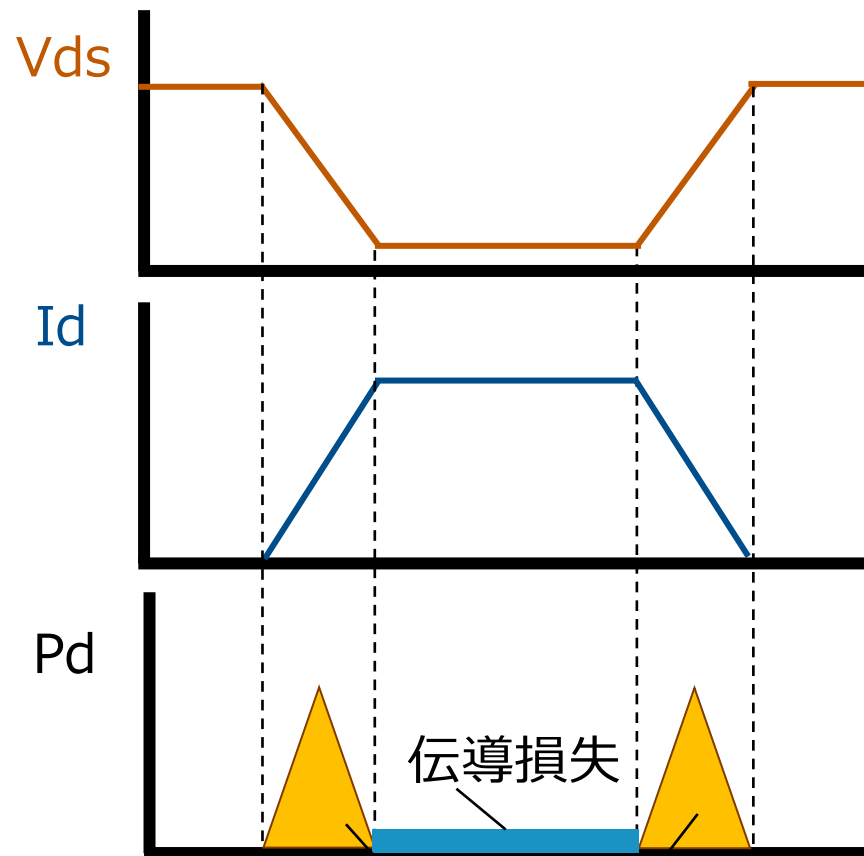
$$V_n = L \frac{di}{dt} \rightarrow \text{大}$$

スルーレート制御のデメリット：効率とのトレードオフ



FETの電力損失

$$P_d = I_d \times V_{ds}$$

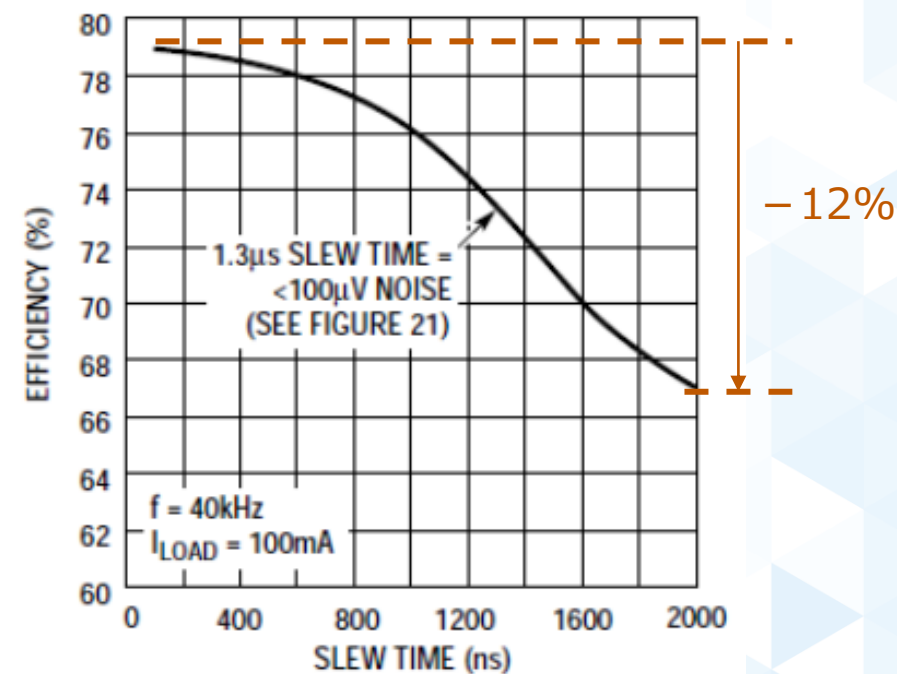


スイッチング損失

スルーレートが大きい(dt=大)程

スイッチング損失の面積大⇒効率低下

効率 vs スルーレート 特性例



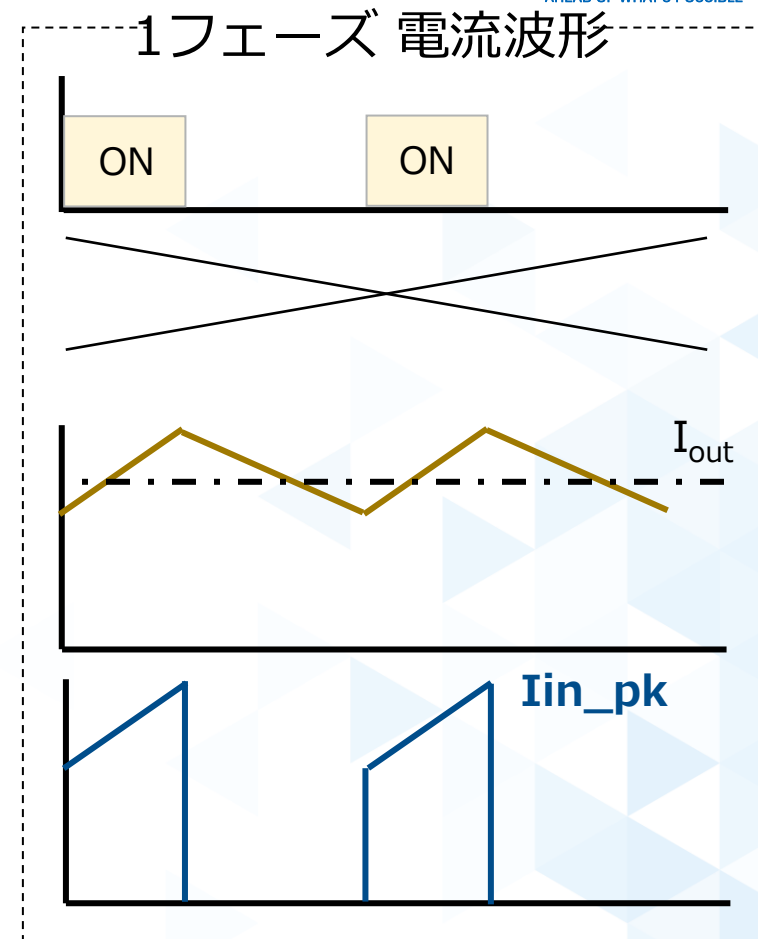
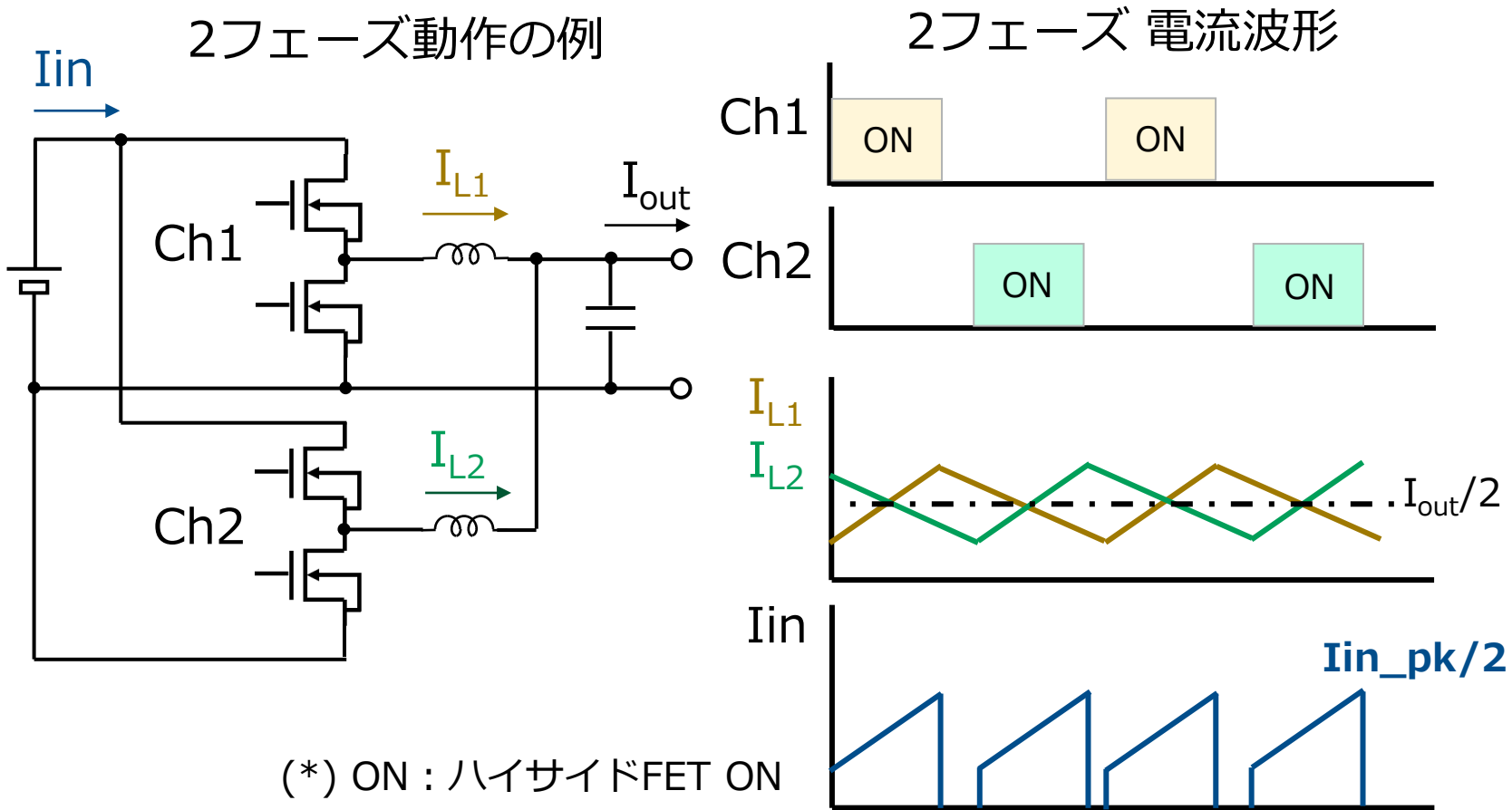
スルーレート10倍で12%の効率低下

デバイス：LT1533 (1997年リリース)

プッシュ・プルコンバータ

スルーレート制御ピン内蔵

マルチフェーズ

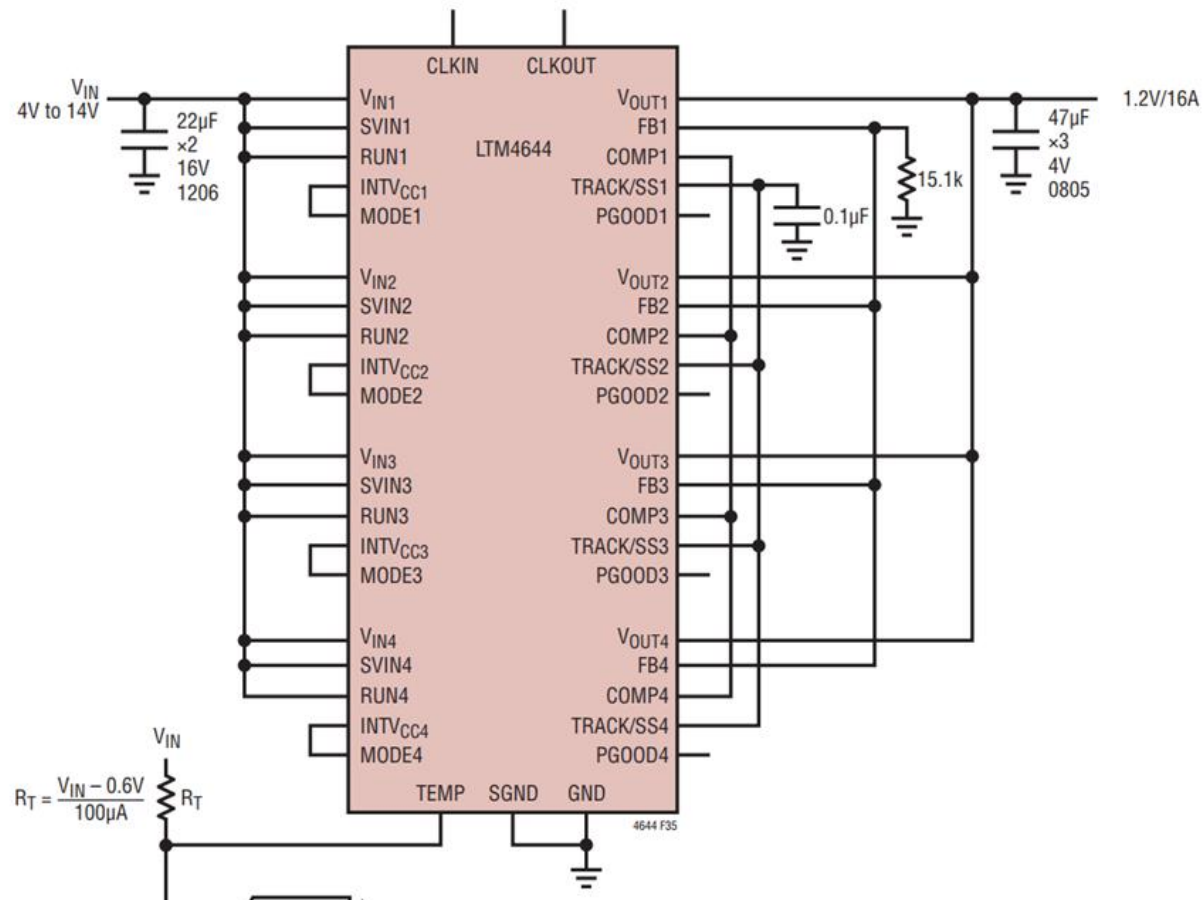


- 1出力に対し位相をずらした複数フェーズで電流を分担する。
- フェーズ数を増やす毎にピーク電流(di)を減らす事が可能。

$$V_n = L \frac{di}{dt} \rightarrow \text{小}$$

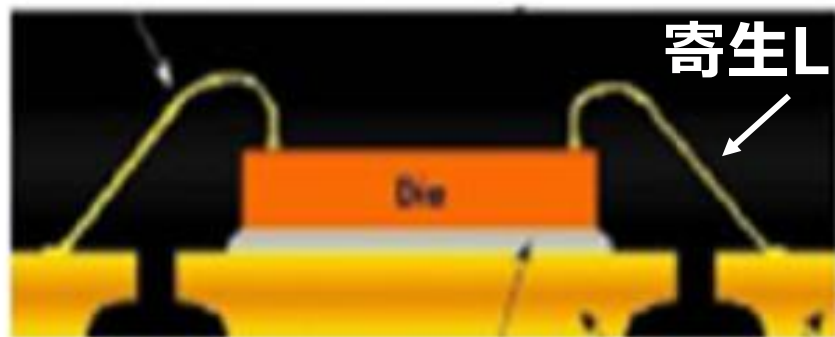
**ANALOG
DEVICES**
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE

主要な部品が全て内蔵されたモジュールタイプであれば4フェーズでもコンパクトに。



LTM4644
4A/ch,クワッド出力モジュール

Flip Chip : ボンディングワイヤによる寄生Lの影響

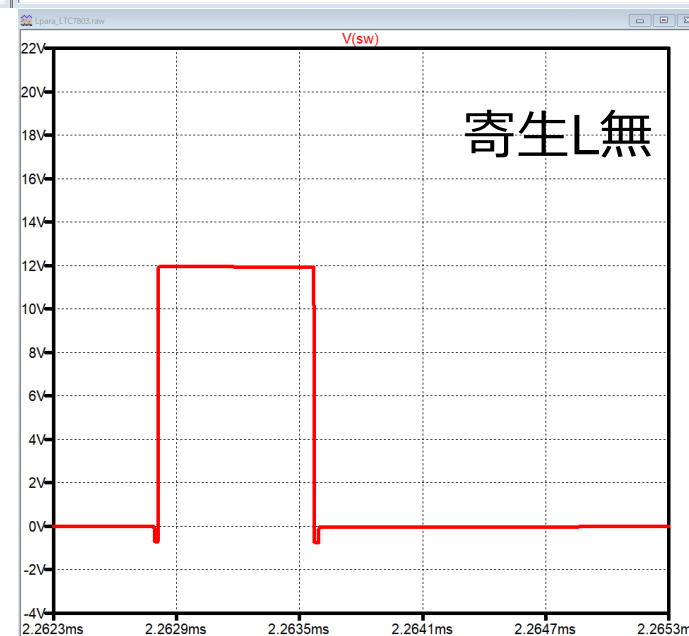
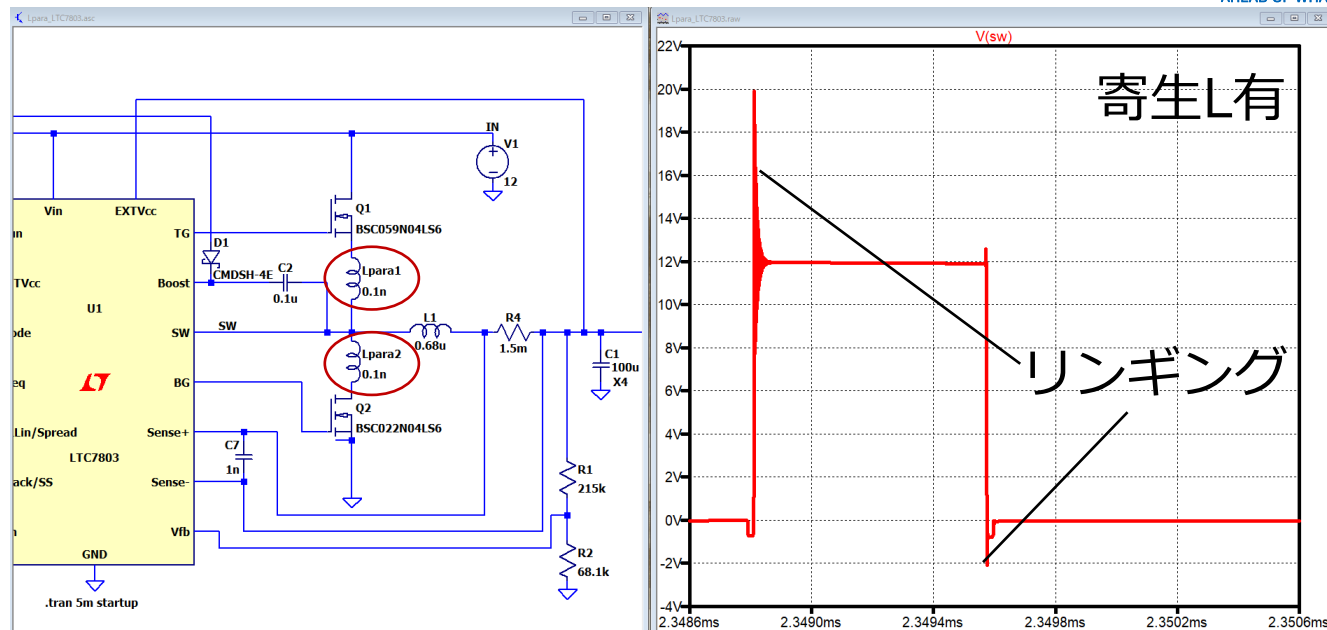


Bond Wires

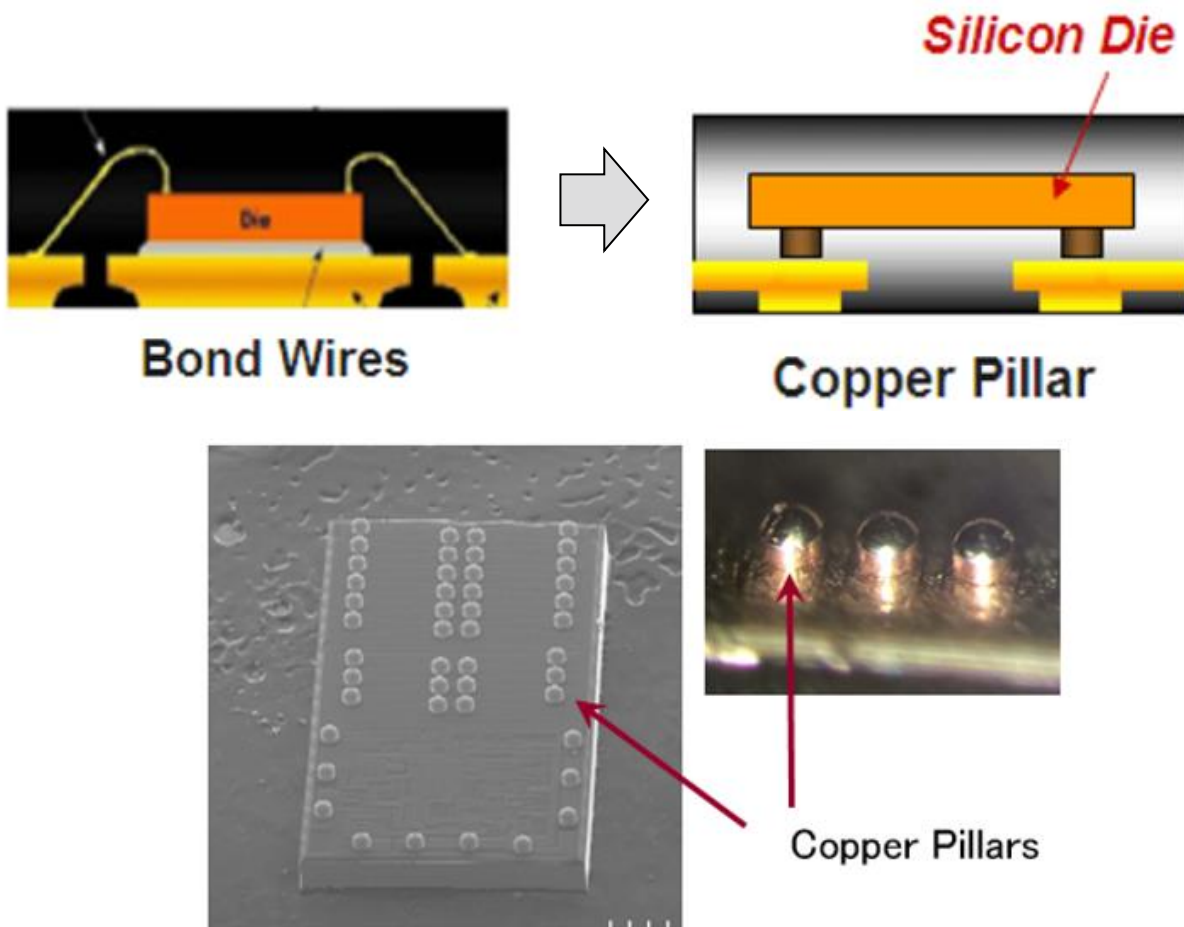
- ・スイッチング波形に顕著に影響が現れる。
- ・高周波のリンギングが発生→ノイズの悪化要因

$$V_n = \mathbf{L} \frac{di}{dt}$$

→ Flip Chip技術により、小さくする

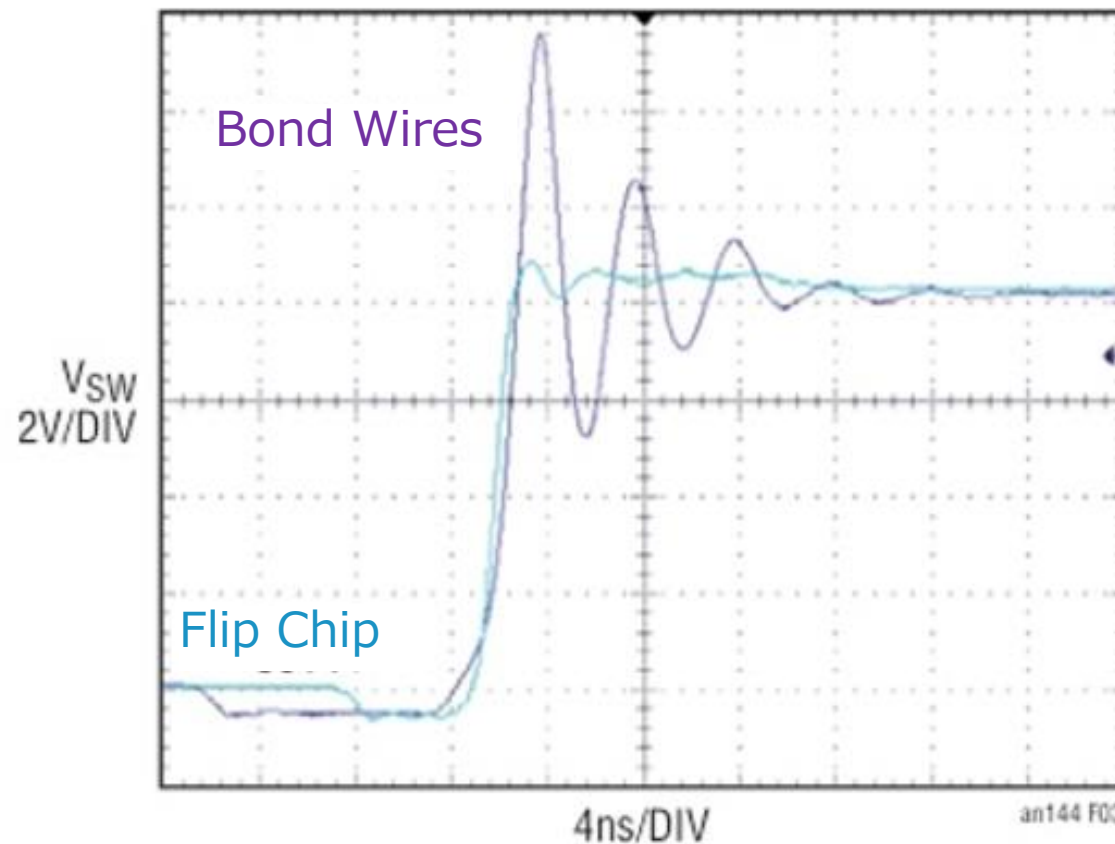


Flip Chip : 構造と効果



チップ(Chip)をひっくり返す(Flip)
銅柱でリードフレームと接続

スイッチング波形比較
 $V_{in}=8.4V$, $V_{out}=3.3V$, $I_{out}=2.2A$

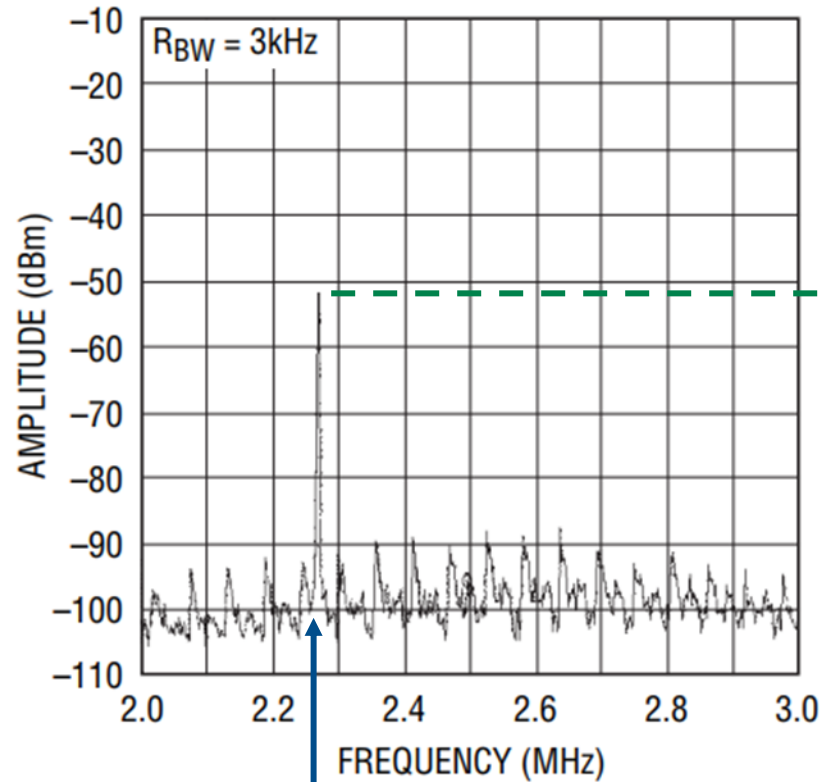


同じ立上り時間でもリングングが異なる。

スペクトラム拡散 (SSFM : Spread Spectrum Frequency Modulation)

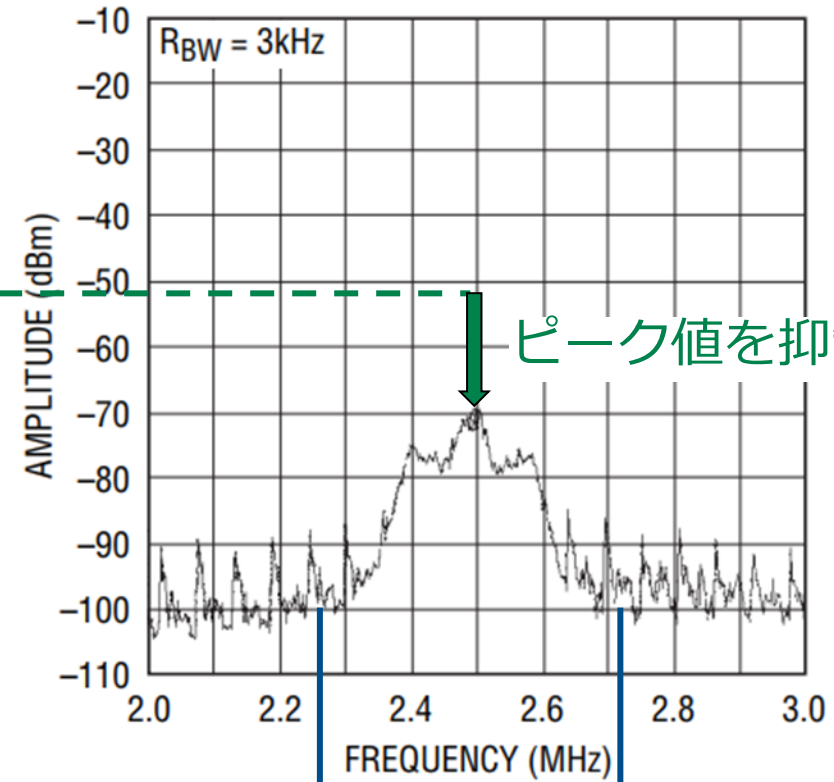
スイッチング周波数を一定の範囲で変調させる技術

SSFM OFF



fsw

SSFM ON



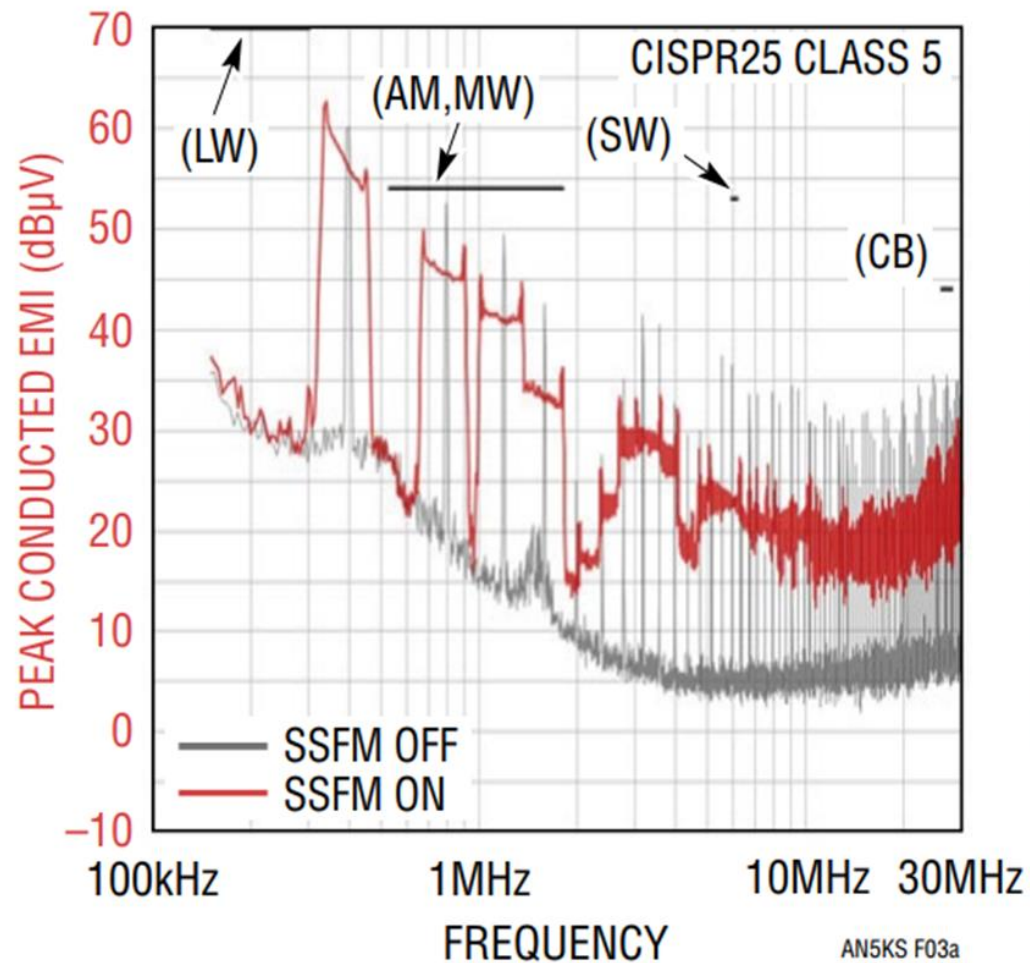
ピーク値を抑制

fswをランダムに拡散

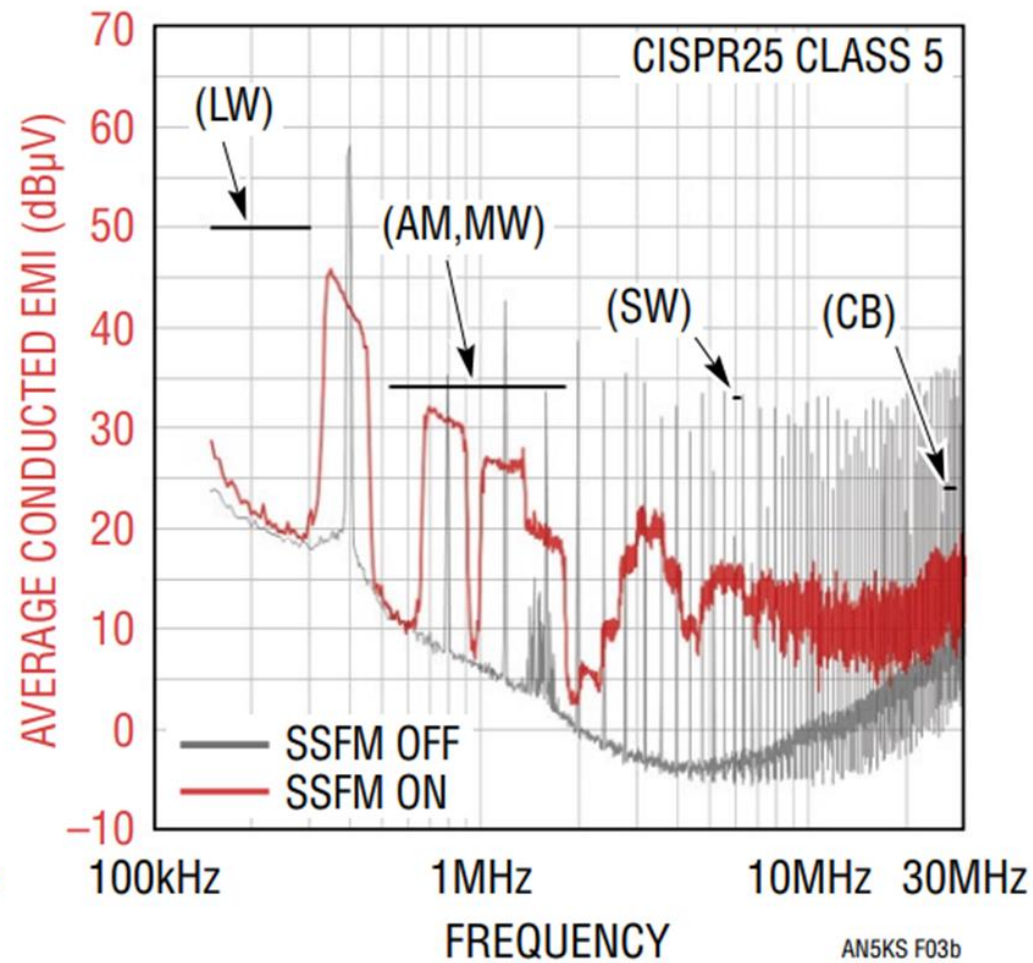
デバイス : LTC3543 (低電圧同期整流降圧コンバータ)

スペクトラム拡散：効果

伝導エミッション(ピーク)



伝導エミッション(平均)

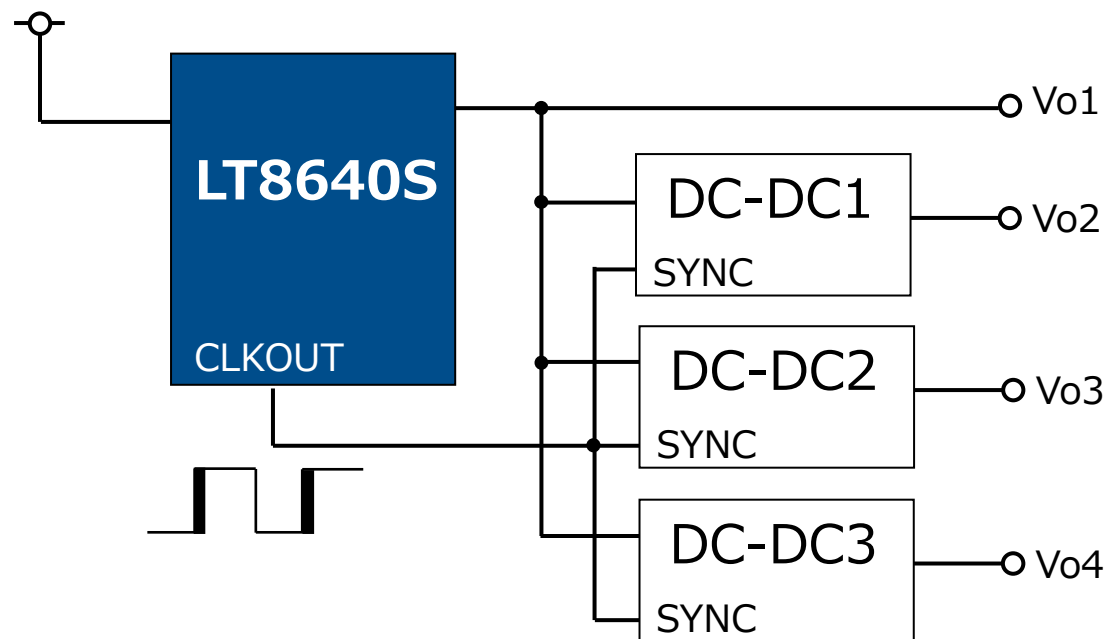


デバイス：LT8391 (60V,4スイッチ,同期整流昇降圧LEDコントローラ)

スペクトラム拡散：応用回路例

(1) CLKOUT端子付き電源IC

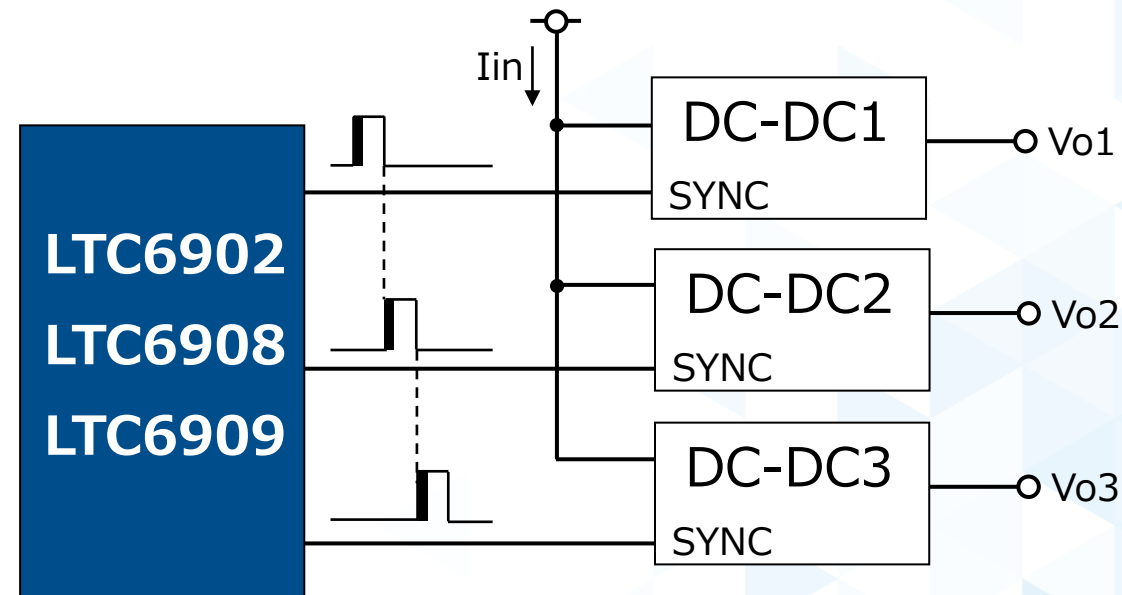
LT8640S : 42V/6A スペクトラム拡散機能 降圧コンバータ



- CLKOUT : f_{sw} のクロック出力
- SYNC : 外部同期クロック入力
- 非SSFMのDC-DCもSSFM化が可能
- ビートノイズ防止にも有効

(2) スペクトラム拡散発振器

LTC6902/8/9 : スペクトラム拡散付きマルチフェーズ発振器



- SSFMの無い電源系統への適用が可能
- マルチフェーズクロックにより I_{in_pk} の低減
⇒ di/dt の低減
- ビートノイズ防止にも有効

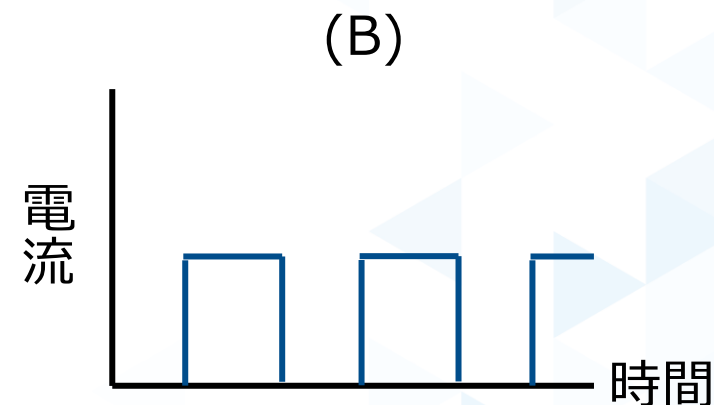
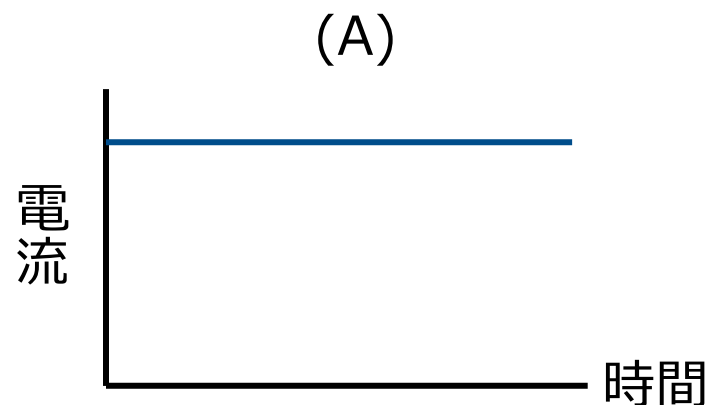
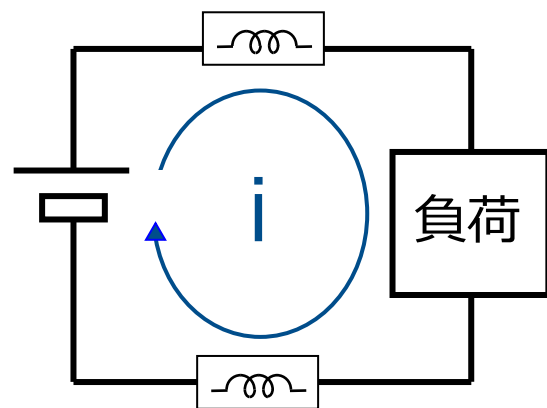
Agenda

- ▶ ノイズの基本的な発生メカニズム
- ▶ これまでのノイズ抑制技術
- ▶ **ホットループの概念**
- ▶ Silent Switcher® (サイレント・スイッチャ) テクノロジー

ホットループとは？

$$V_n = L \frac{di}{dt}$$

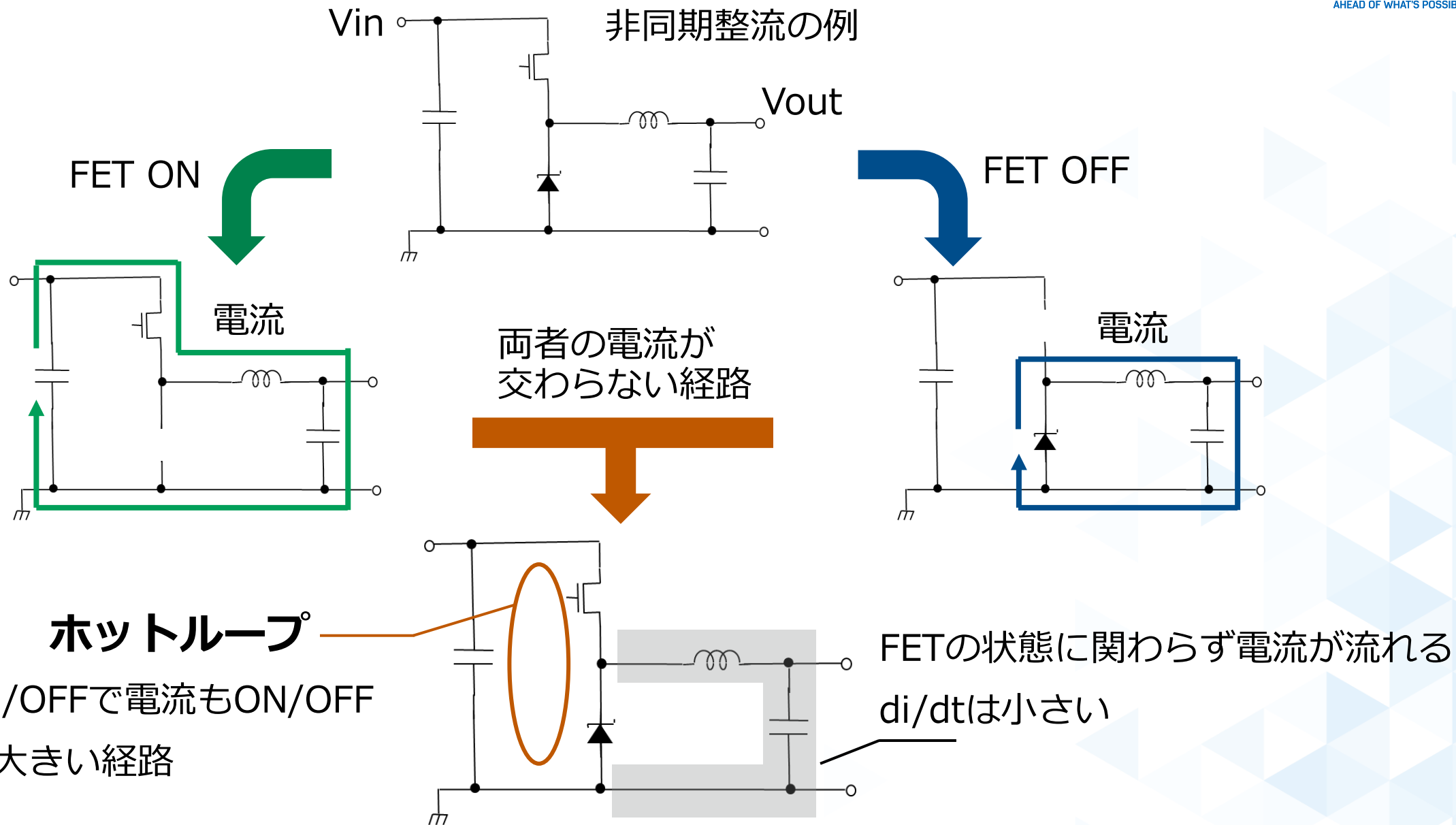
電流の大きさではなく、**変化量**に比例



V_n の観点からは、(B)の方がノイズが大きい

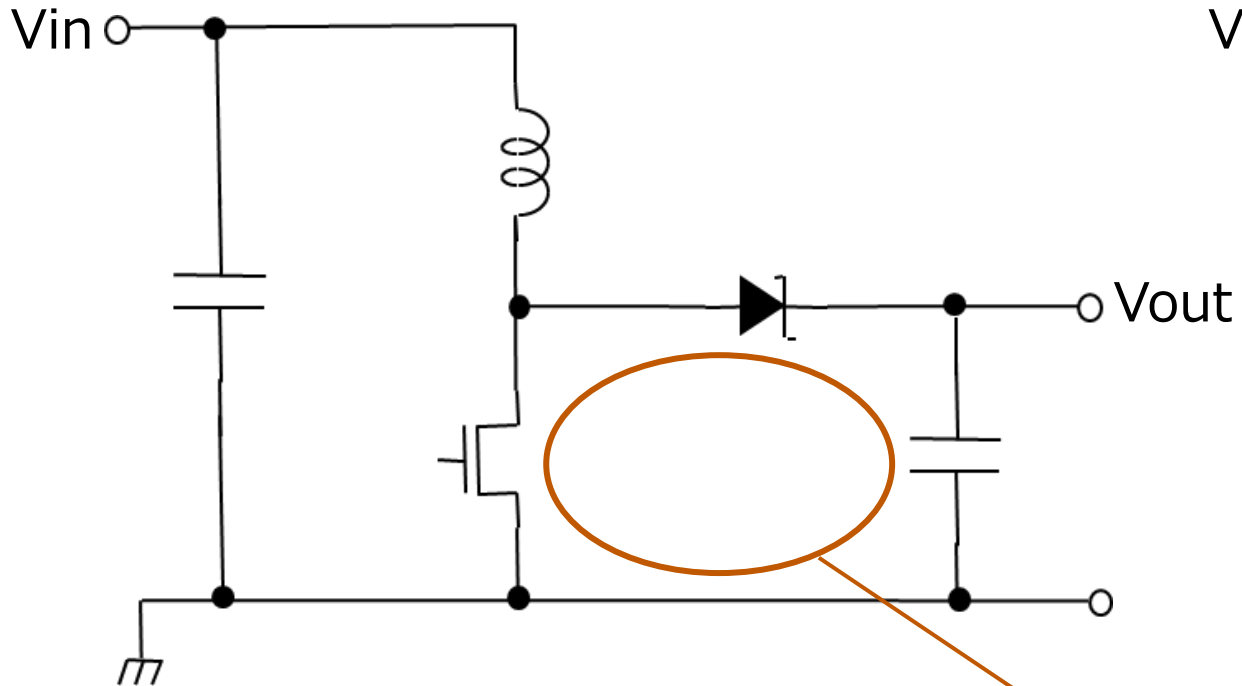
- ・ 回路内で電流変化量が多い経路 = “**ホットループ**”と呼ぶ。
- ・ “ホットループ” は回路内でノイズが放射しやすい経路。
- ・ “ホットループ”を出来るだけ短いループにレイアウトする事が重要

降圧スイッチングレギュレータのホットループ°

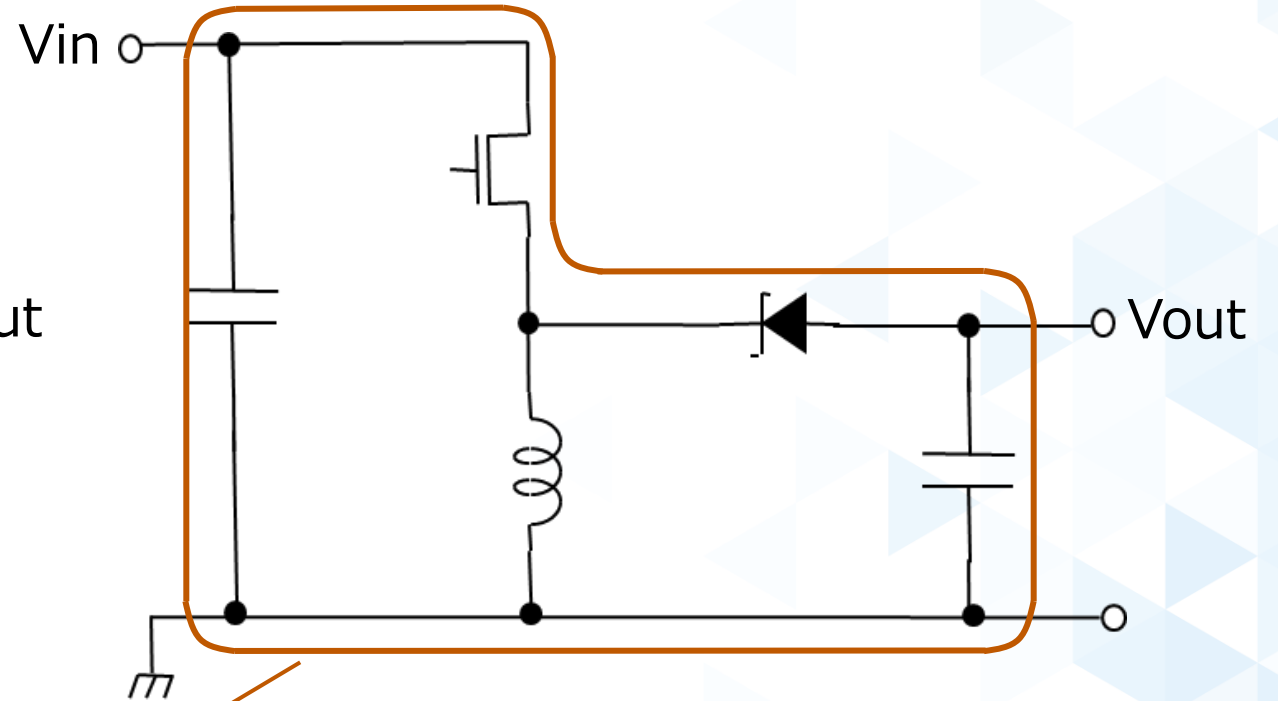


他のトポロジーのホットループ

昇圧



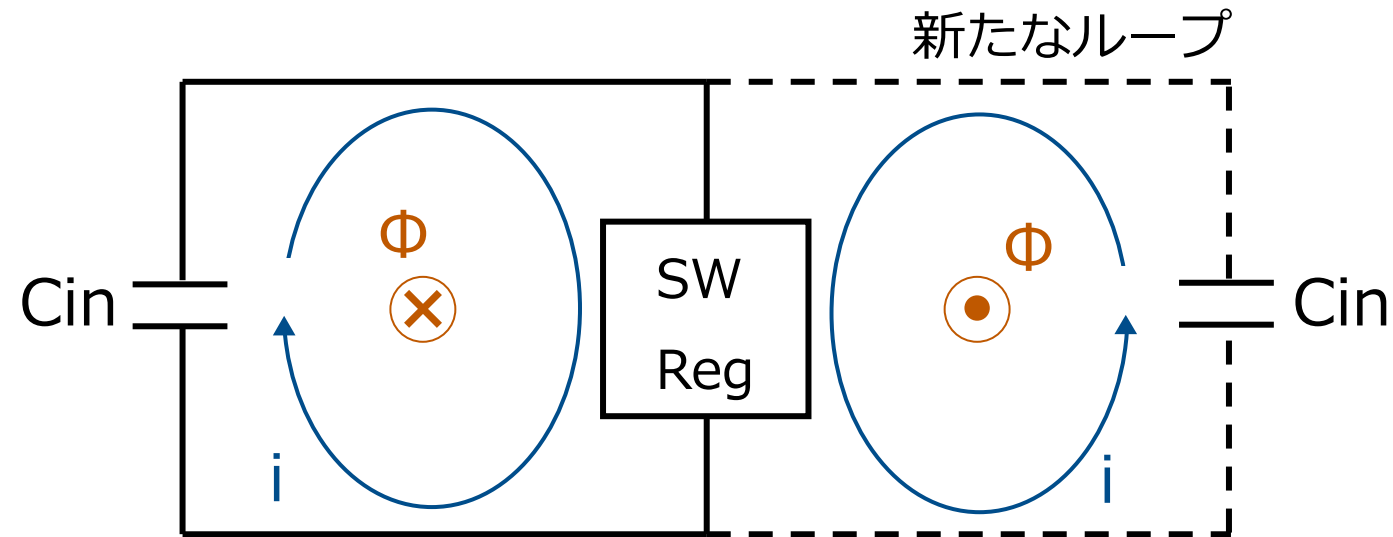
反転(負電圧)



ホットループ

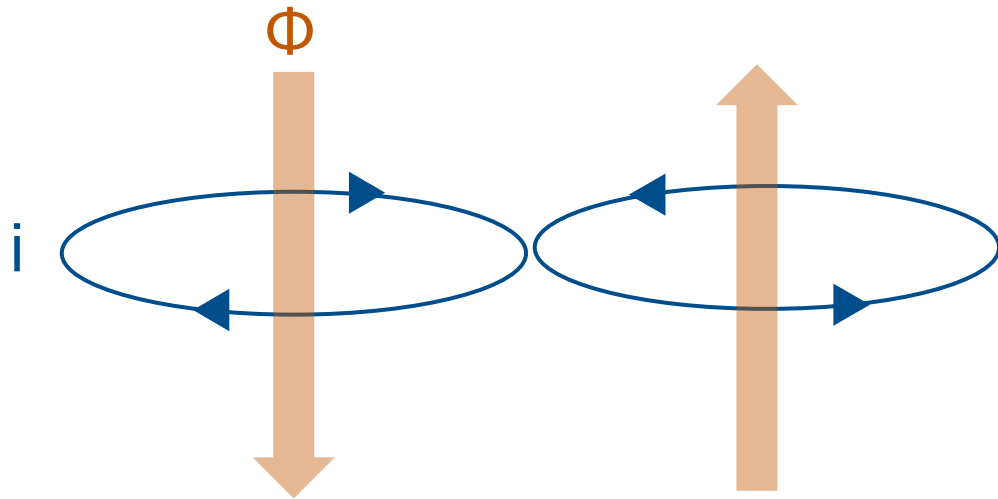
Agenda

- ▶ ノイズの基本的な発生メカニズム
- ▶ これまでのノイズ抑制技術
- ▶ ホットループの概念
- ▶ **Silent Switcher® (サイレント・スイッチャ)テクノロジー**



Vnは発生する磁束に比例

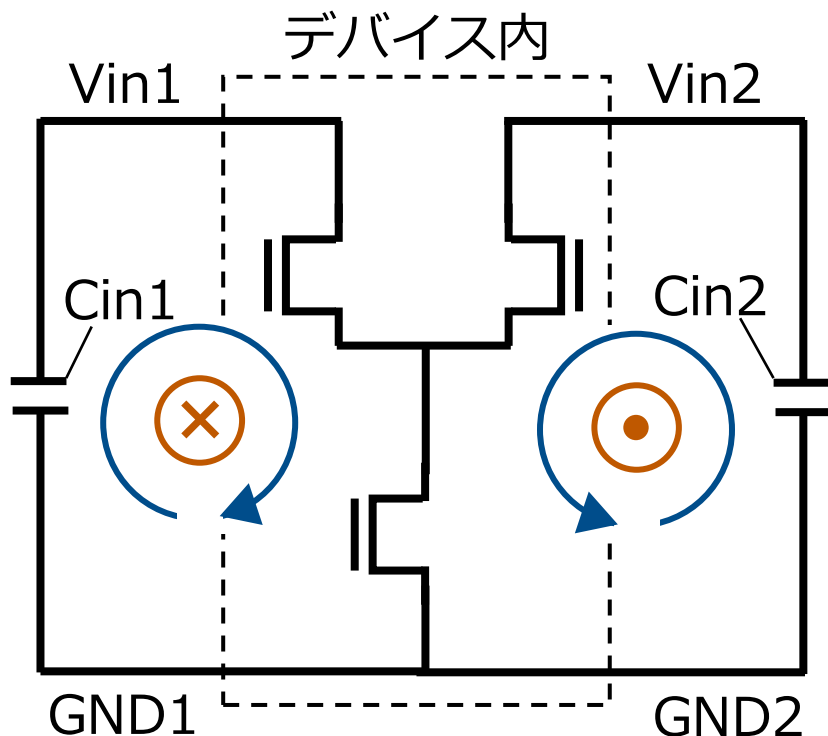
$$Vn = L \frac{di}{dt} = \frac{d\Phi}{dt}$$



- ・ 逆方向のホットループを新たに形成。
- ・ 新たな磁束の方向も逆方向。
- ・ お互いの磁束同士を打ち消し合わせる。
- ・ Patent US8823345

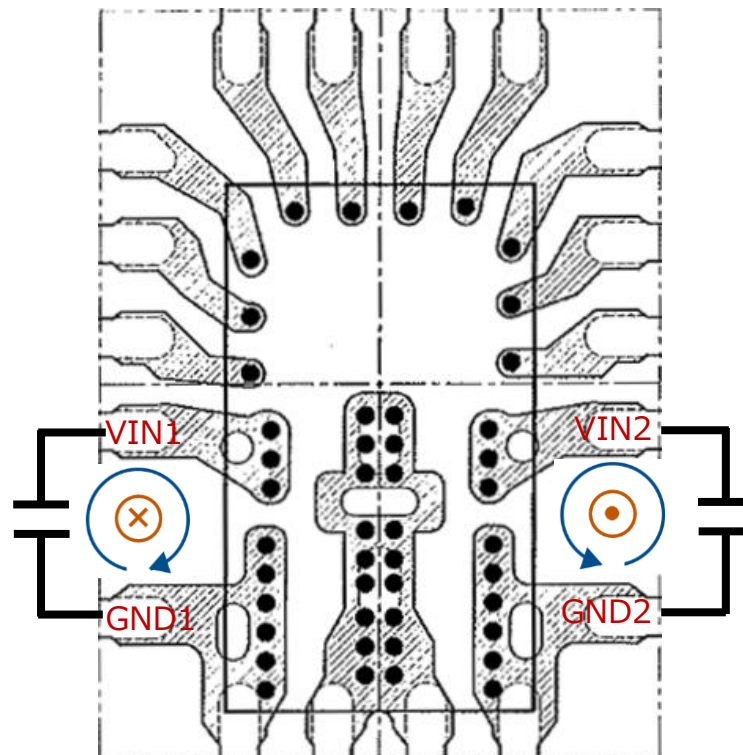
Silent Switcher®のデバイスへの実装（降圧電源）

< 回路表現 >



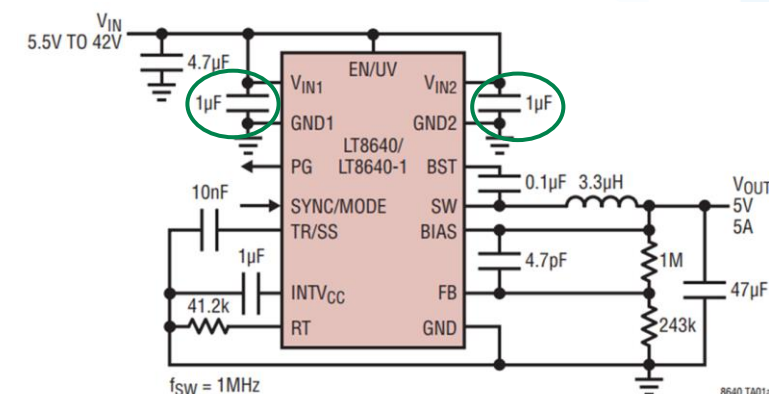
- FETの分離
- Vin/GND端子の分離

< チップレイアウト >



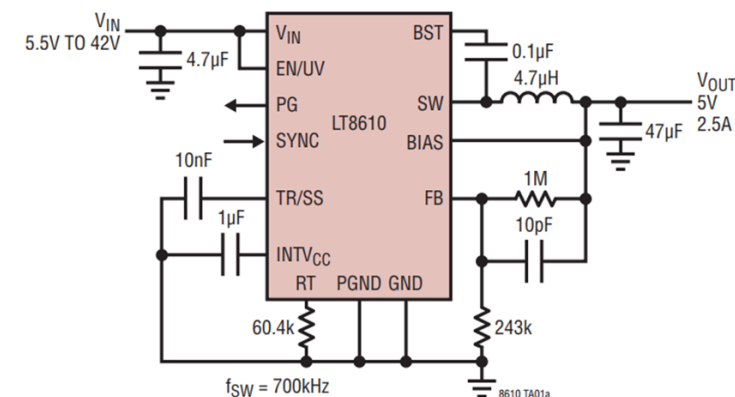
- FET、端子の対照的な配置

< アプリケーション >



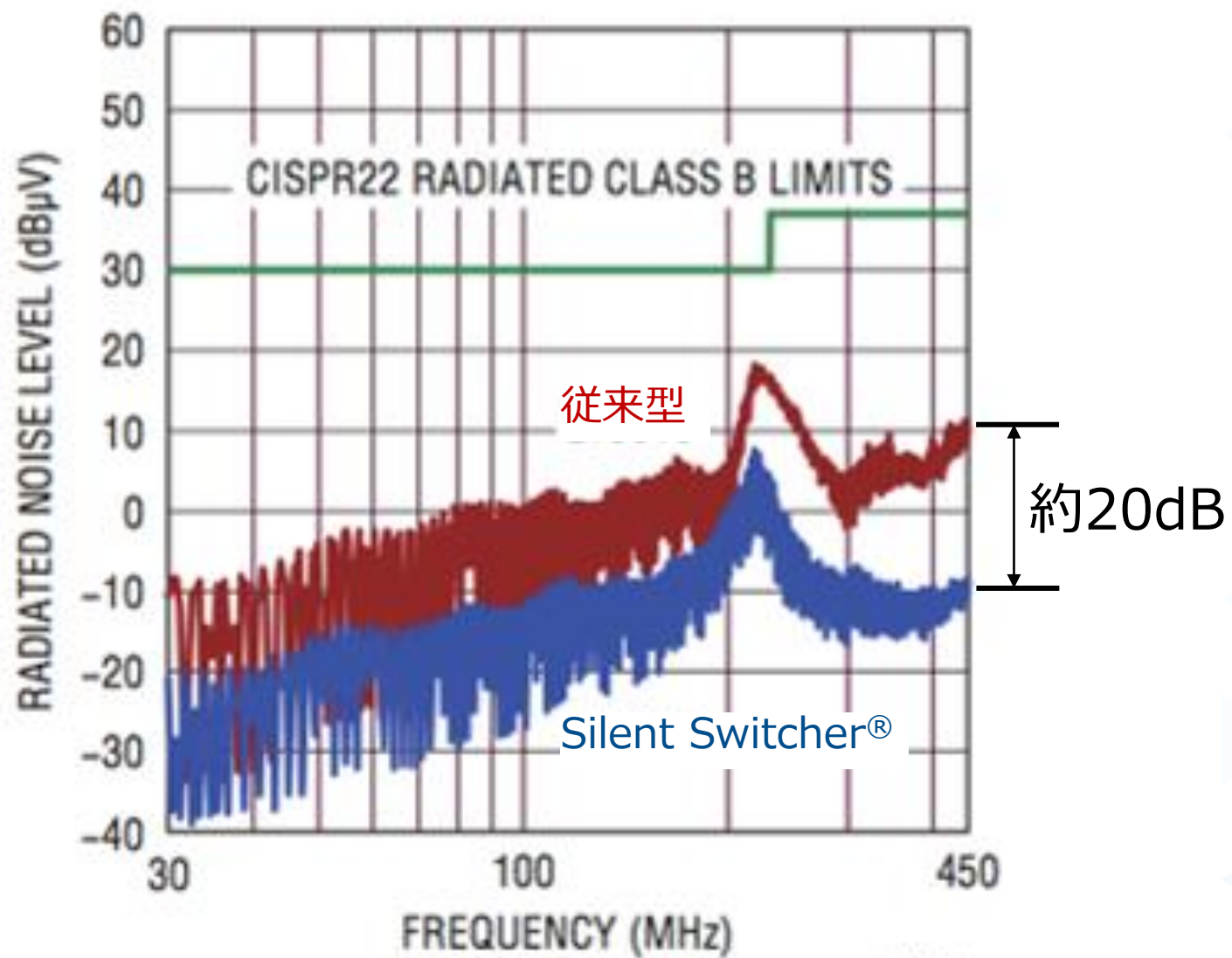
- パスコンを2pcs追加

(参考) 従来型



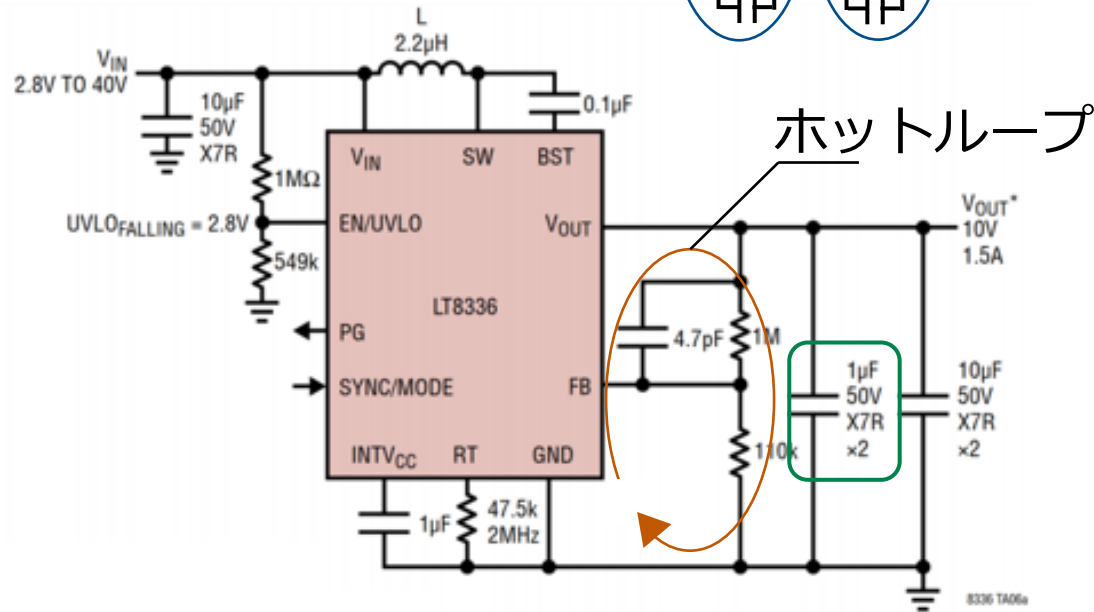
輻射ノイズ比較

$V_{in}=14V$, $V_{out}=3.3V$, $I_{out}=2A$, $f_{sw}=700KHz$

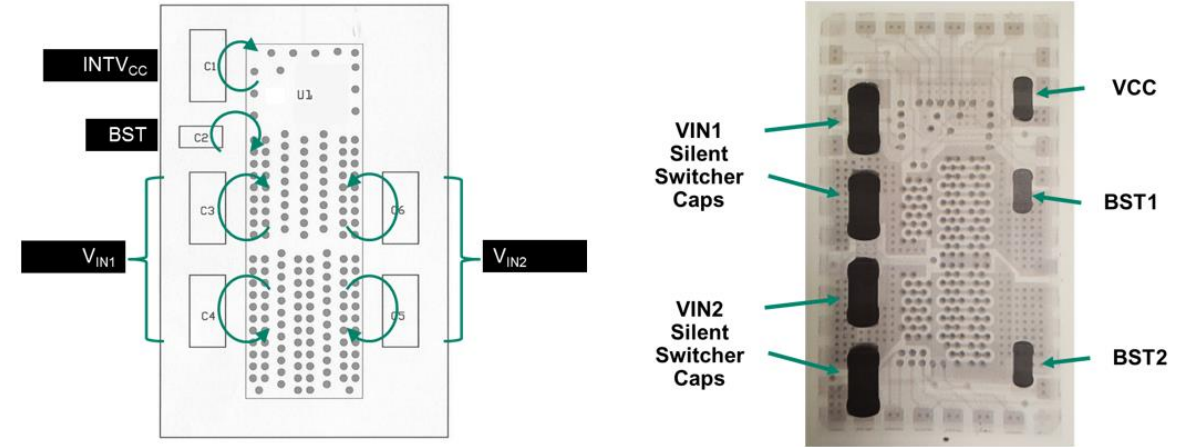


(1) 昇圧電源への適用

LT8336
40V, 2.5A, 低Iq
同期整流昇圧コンバータ



(2) パスコン(Cin)の内蔵 (第2世代)



- ・ パスコンをpkg内に内蔵することにより
ホットループの最短化
- ・ パスコン以外のノイズに重要となるCも内蔵

EMIのさらなる改善
PCBレイアウトの簡素化
外付け部品点数と面積の削減

Silent Switcher®製品ラインナップ

Silent Switcher®1 (Cin外付け)

デバイス	タイプ	Vin [V]	Iout/Isw [A]
LT8641	降圧	3.0~65	3.5 (5)
LT8614		3.4~42	4
LT8612/13		3.4~42	6
LT8636/37		3.4~42	5 (7)
LT8640/-1		3.4~42	5 (7)
LTC3307A/B		2.25~5.5	3
LTC3308A/B		2.25~5.5	4
LTC3309A/B		2.25~5.5	6
LTC3310/-1		2.25~5.5	10
LTC3311		2.25~5.5	12.5
LT8336	昇圧	2.7~40	2.5
LT8337		2.7~28	5

- プライマリ電源向け高電圧仕様
- SoC等のCore電源向け低電圧仕様
- L、C、FET内蔵 (μModule)

Silent Switcher®2 (Cin内蔵)

デバイス	タイプ	Vin [V]	Iout [A]
LT8642S	降圧	2.8~18	10
LT8609S		3.0~42	2 (3)
LT8640S/43S		3.4~42	6 (7)
LT8645S/46S		3.4~65	8
LT8648S		3.0~42	15
LT8652S		3.0~18	8.5×2ch
LT8653S		3.0~42	2×2ch
LT8650S		3.0~42	4×2ch
LTC7151S		3.1~20	15
LTC7150S		3.1~20	20
LTC3310S		2.25~5.5	10
LTC3311S		2.25~5.5	12.5
LTM8074	降圧 (モジュール)	3.2~40	1.2
LTM8071		3.6~60	5
LTM8051		3.0~40	1.2×4ch
LTM8060		3.0~40	3×4ch

テクノロジー	制御パラメータ	トレードオフ
スルーレート制御	dt	効率
マルチフェーズ	di	回路規模
Flip Chip	L	パッケージ (SOP系は不可)
スペクトラム拡散	Freq	周波数ジッタ (アプリによる)
Silent Switcher®	Φ	特に無し

3つの組み合わせが最近のトレンド

Thank you!

