

600W ATX電源 PC用電源ユニット向け LLC共振コンバータ

岩本純一
シニアFAEマネージャー
MPSジャパン

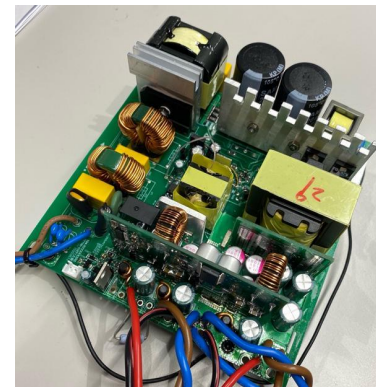
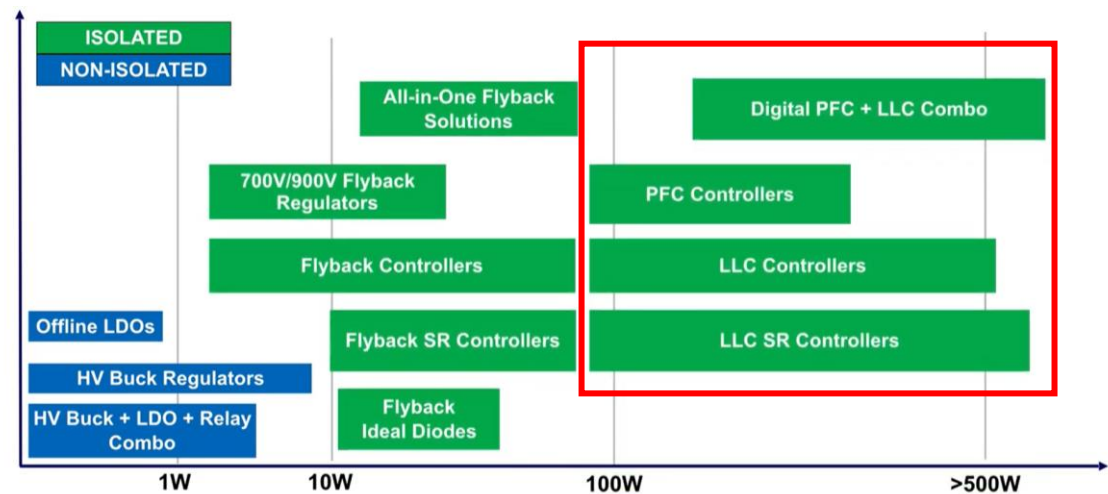
2022年9月

コンテンツ

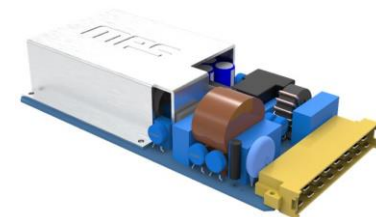
- LLCを使用したアプリケーションとその使用動機
- LLCコンバータを理解する
 - 動作原理
 - パワースイッチ
 - 共振タンク
- 設計時の制限
 - ゲイン
 - 負荷
 - 周波数
 - インダクタンス
- 設計プロセス: LLC Designer
- Q&A

AC/DCソリューション

LLC共振コンバータは、高電力、高効率コンバータで使用されるスイッチモードのDC/DC電力コンバータです。

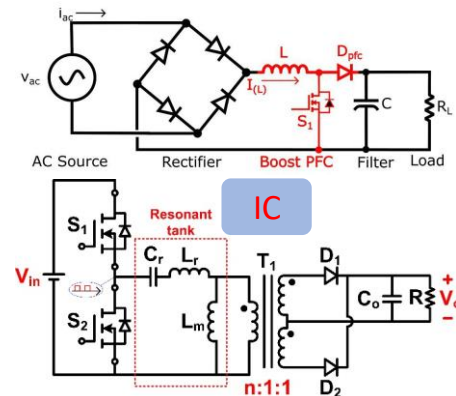


ゲーミングおよび
PC電力用の高品質PSU



高電力のバッテリーチャージャ

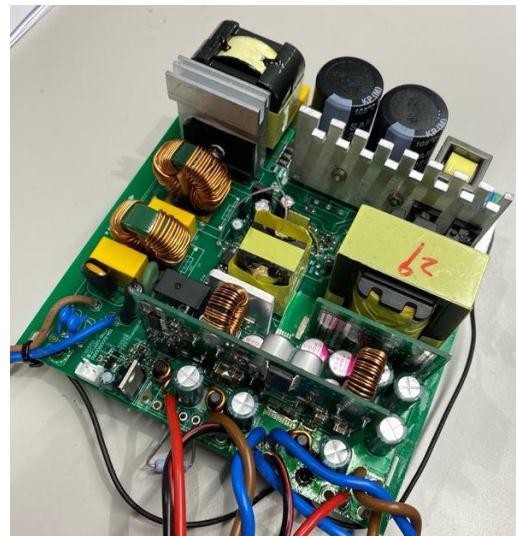
高電力アダプタ向けソリューション: PFC + LLCコンボコントローラ



アプリケーション

PC向け高電力、高効率PSU:

- $P = 600W$
- 効率 $> 90\%$
- $V_{in} = 230 V_{RMS}$
- $V_{out} = 3.3V / 5V / 12V$
- $I_{out} = 8A / 15A / 55A$

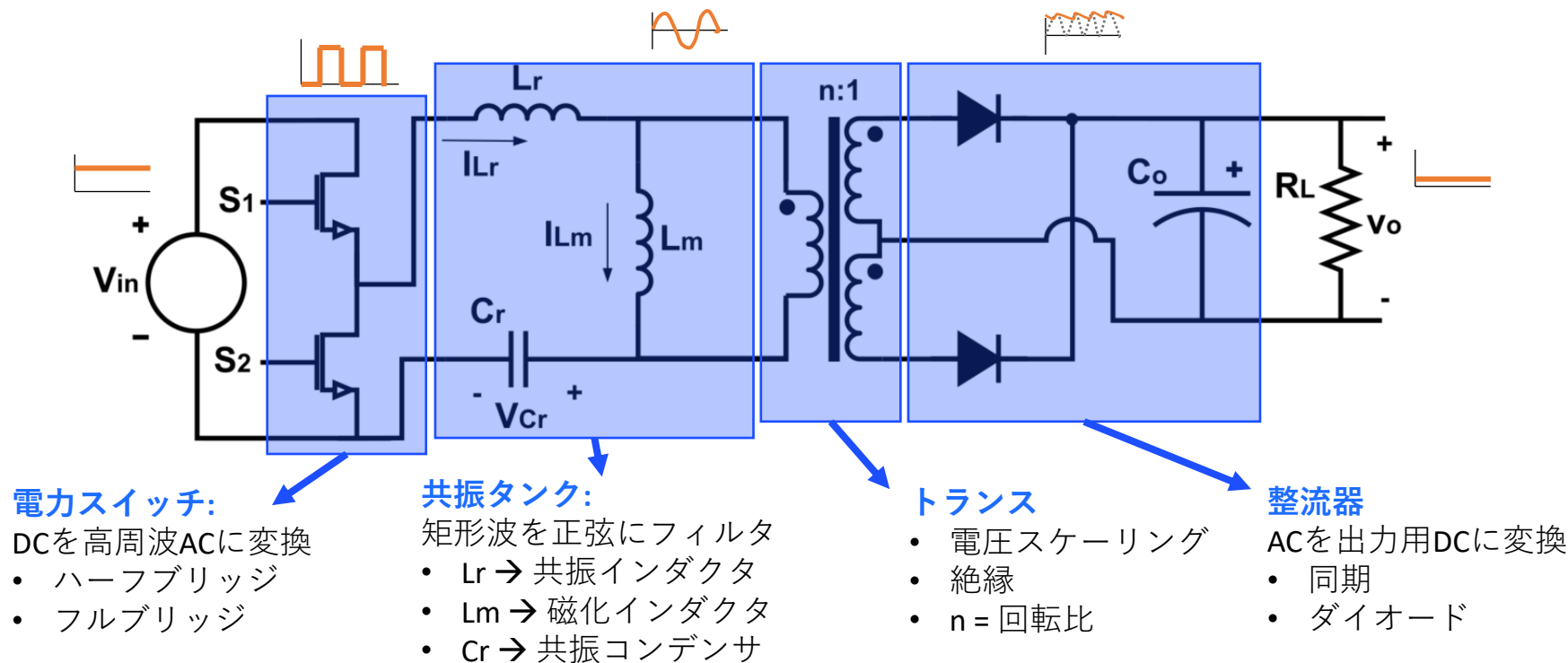


長所	短所
共振 → より低いEMI	設計と制御がより難しい
1次側および2次側でのソフトスイッチング	固定周波数制御ができない
広範囲でソフトスイッチングが可能 → 軽負荷でより高い効率を実現	
出力インダクタ不要 (面積 / 費用を節約)	
より広い電力幅	

LLCを理解する

最適化されたLLC設計 第1部

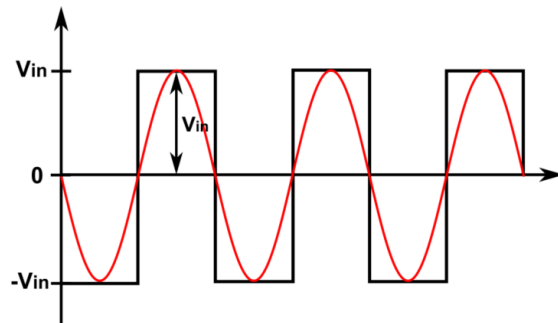
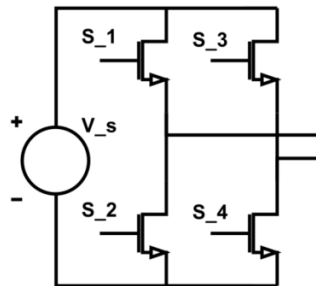
LLCの動作原則



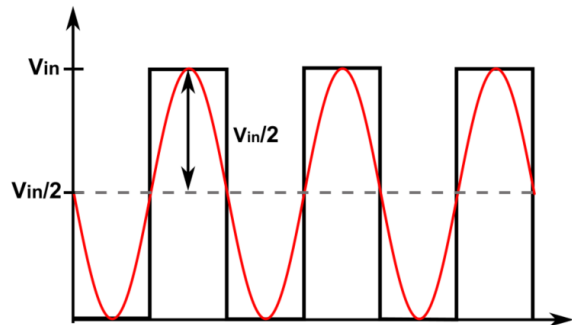
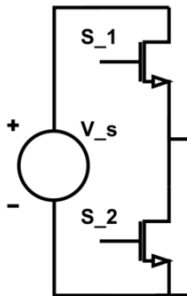
$$Gain = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{n}{2} M_g(Q, L_n, F_n)$$

パワースイッチ

フルブリッジ



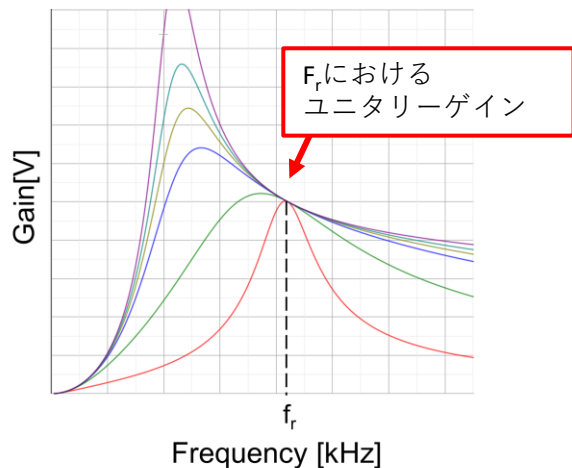
ハーフブリッジ



	フルブリッジ	ハーフブリッジ
費用	↑	↓
DC オフセット	0 V	$V_{IN}/2$
振幅	V_{IN}	$V_{IN}/2$
導電損失	↓	↑
スイッチング 損失	↑	↓
電力	> 1 kW	< 1 kW

共振タンク

Mg = 共振タンクゲイン



ゲインは負荷品質ファクタ (Q)、動作周波数 (Fn) およびインダクタンス (Ln) に依存:

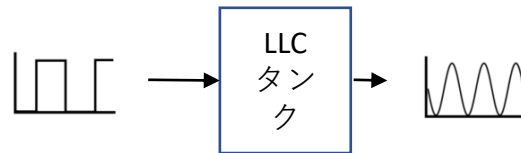
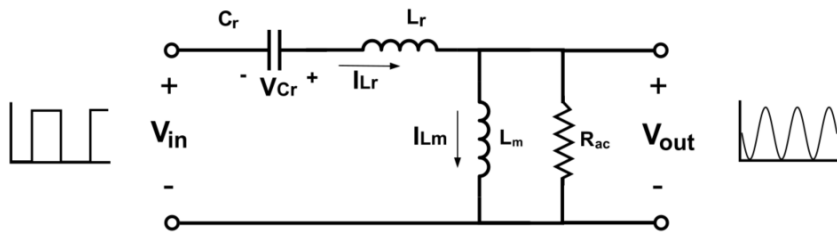
$$R_{ac} = \frac{8n^2 V_o}{\pi^2 I_o}$$

$$Q = \frac{\sqrt{L_r/C_r}}{R_{ac}}$$

$$Fn = \frac{f_s}{f_r}$$

$$Ln = \frac{L_m}{L_r}$$

$$M_g(Q, Ln, Fn) = \frac{V_{o[ac]}}{V_{in[ac]}} = \frac{Fn^2(Ln - 1)}{(Fn^2 - 1)^2 + Fn^2 \cdot (Fn^2 - 1) \cdot (Ln - 1)^2 \cdot Q^2}$$



フィルタとして動作

共振タンク

- C_r : 共振コンデンサ
- L_r : 共振インダクタ
- L_m : 磁化インダクタ

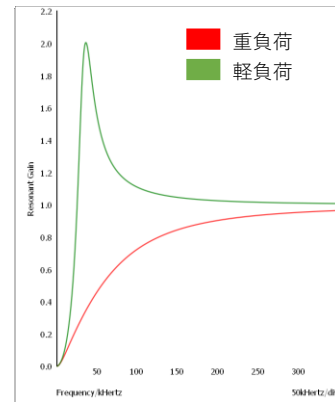
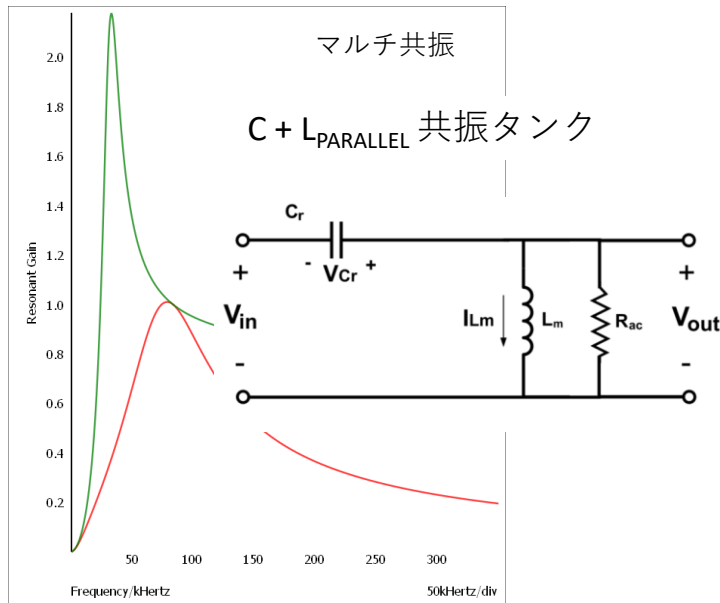
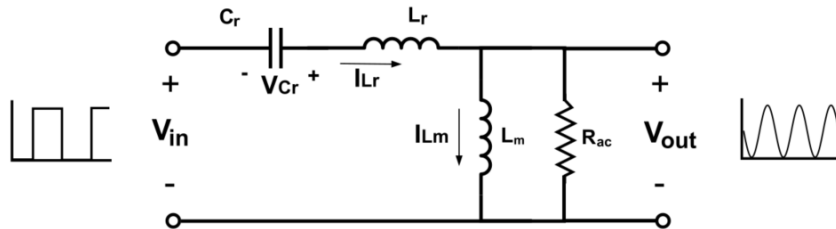
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}}$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_m + L_r)C_r}}$$

なぜ2つのインダクタなのか?

マルチ共振。マルチ共振タンクには以下の効果があります:

- 帯域幅を拡大
- より簡単な制御
- より大きな負荷バリエーションを許容



LLCコンバータ設計時の制限

最適化されたLLC設計 第2部

ゲイン

入力 / 出力:

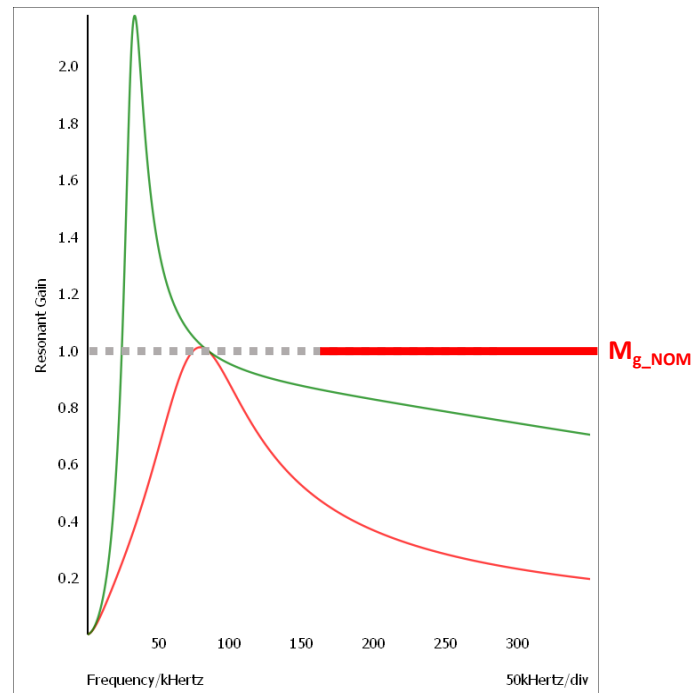
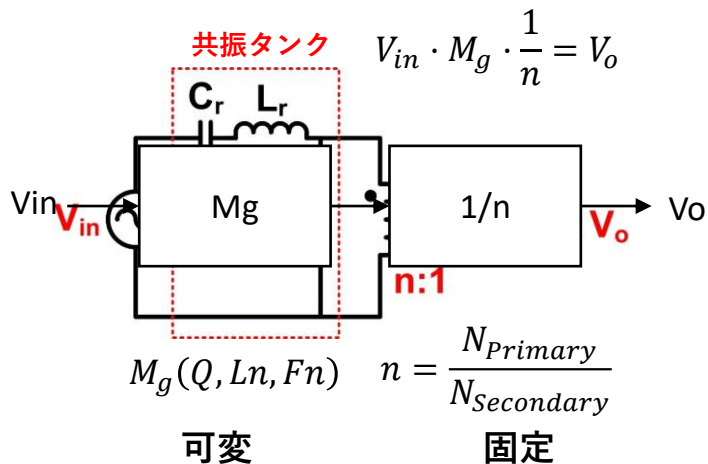
- $V_{IN} = 400V$
- $f_r = 100kHz$
- $V_{OUT} = 40V$
- $n = 10$

M_g = 共振タンクのゲイン

公称共振ゲイン:

$$M_{g_NOM} = 1$$

$$M_g = \frac{V_o \cdot n}{V_{in}} = \frac{40 \cdot 10}{400} = 1$$



V_{IN} 機能としてのゲインの制限

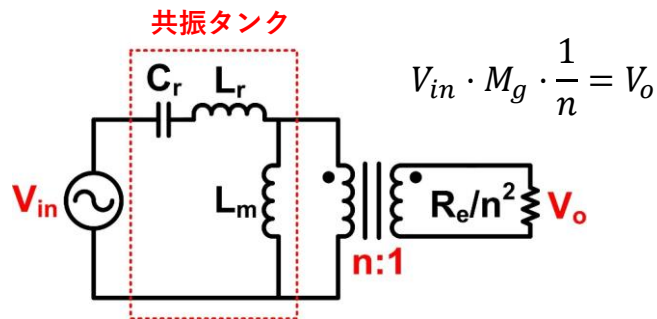
入力 / 出力:

- $V_{IN} = 400V$
- $f_R = 100kHz$
- $V_{OUT} = 40V$
- $n = 10$

M_g = 共振タンクのゲイン

Nominal Resonant Gain: $M_{g_NOM} = 1$

$$M_g = \frac{V_o \cdot n}{V_{in}} = \frac{40 \cdot 10}{400} = 1$$



最大共振ゲイン:

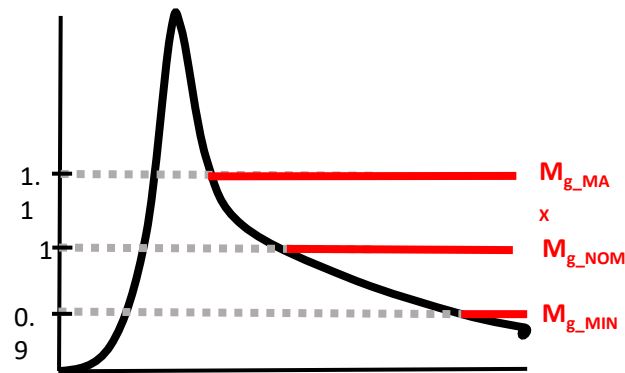
$$M_{g_MAX} = 1.1$$

$$M_g = \frac{V_o \cdot n}{V_{in_MIN}} = \frac{40 \cdot 10}{360} = 1.05$$

最小共振ゲイン:

$$M_{g_MIN} = 0.9$$

$$M_g = \frac{V_o \cdot n}{V_{in_MAX}} = \frac{40 \cdot 10}{440} = 0.9$$



ΔV_{IN} :

- $V_{IN_MAX} = 360V$
- $V_{IN_MAX} = 440V$

負荷 (Q)

品質係数 (Q):

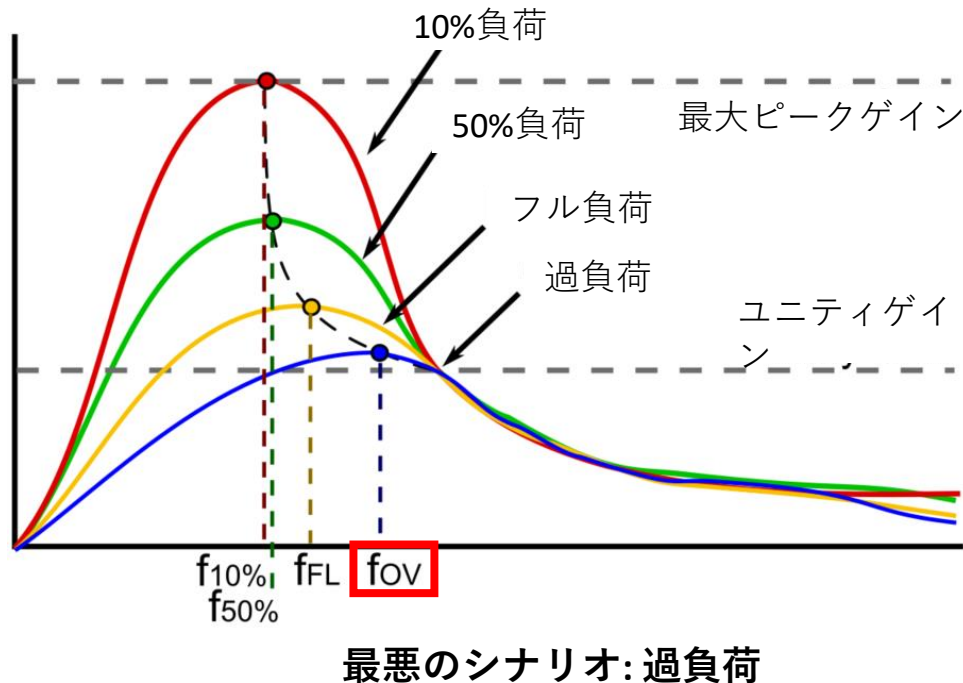
$$Q = \frac{\sqrt{L_r/C_r}}{R_{ac}}$$

Qは負荷に依存

負荷:

- 10%負荷
- 50%負荷
- 100%負荷
- 過負荷

ピークゲイン周波数は負荷とともに増加



周波数: 制御変数

容量性 / 誘導性領域:

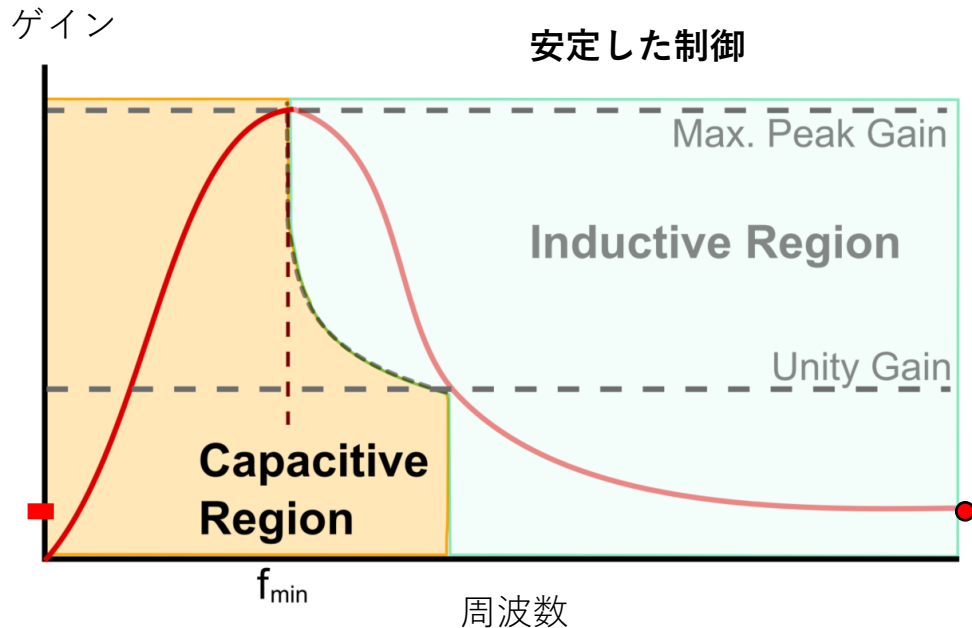
ゲインは周波数に比例しますが、その関係性は動作領域で異なります。

ゲインの制御はスイッチング周波数の調整によって行います:

ゲイン $\propto f_{sw}$ (誘導性領域)

偶然容量性領域に入った場合:

1. 制御ループが不安定になる可能性
2. スwitchングMOSFETへのダメージ (貫通)

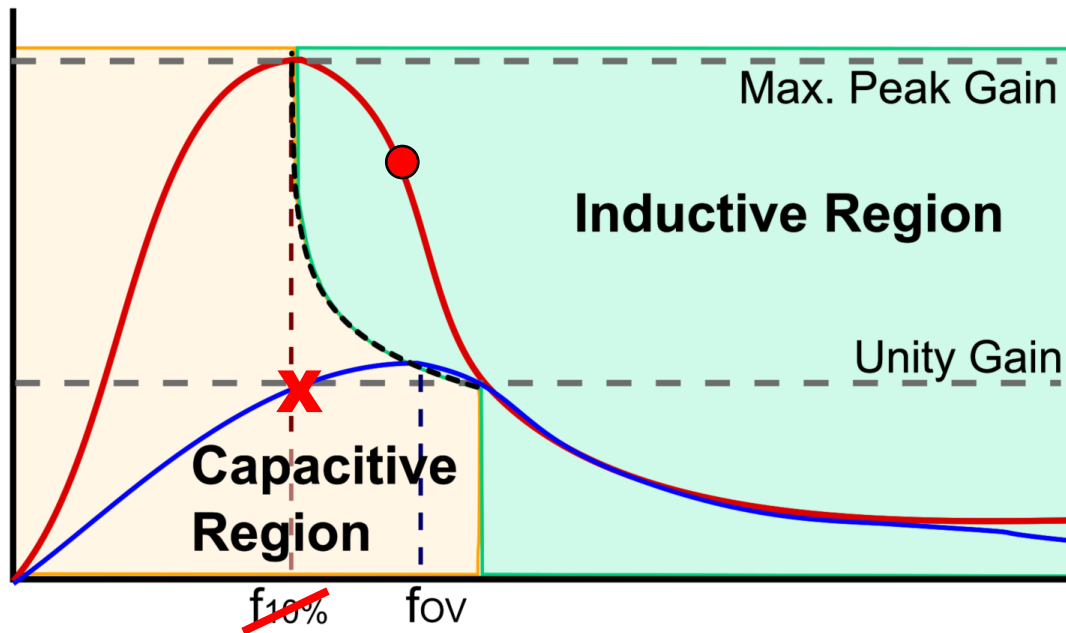
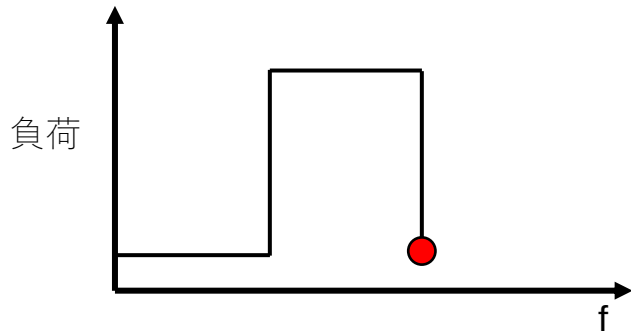


周波数: 制御変数

f_{MIN} を見つける:

すべての負荷を安定的に制御したい。

最悪のシナリオ: 過負荷

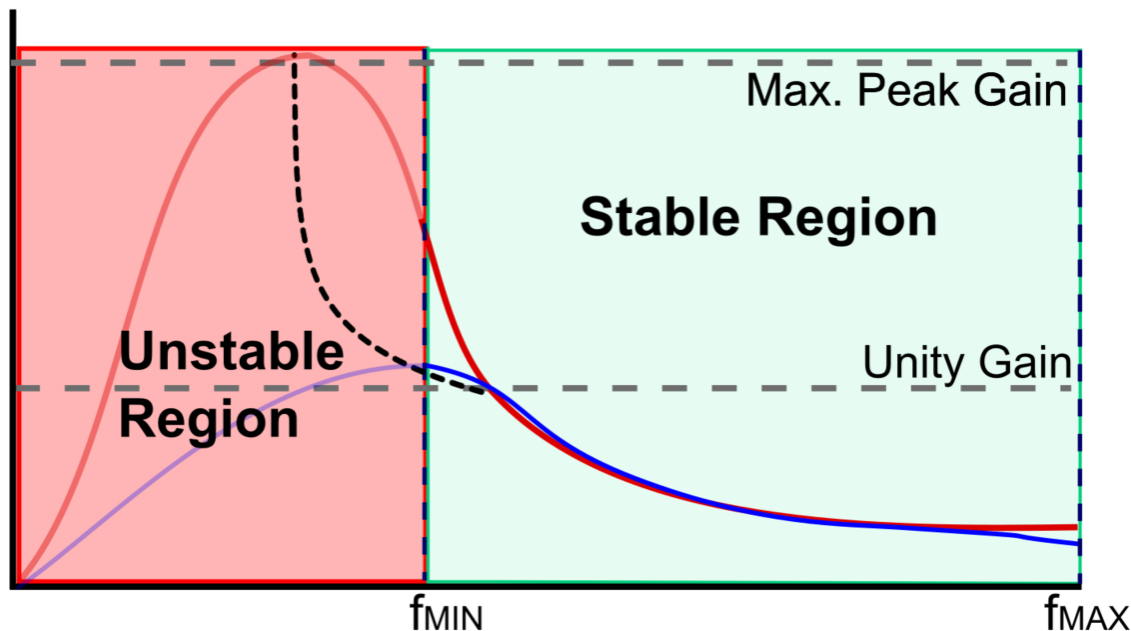
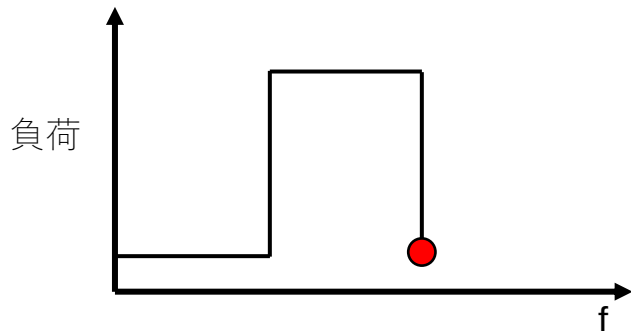


周波数: 制御変数

f_{MIN} を見つける:

すべての負荷を安定的に制御したい。

最悪のシナリオ: 過負荷



周波数: 制御変数

f_{MIN} を見つける:

すべての負荷を安定的に制御したい。

最悪のシナリオ: 過負荷

f_{MAX} を見つける:

最大周波数はパワースイッチの $f_{\text{SW_MAX}}$ によって制限される

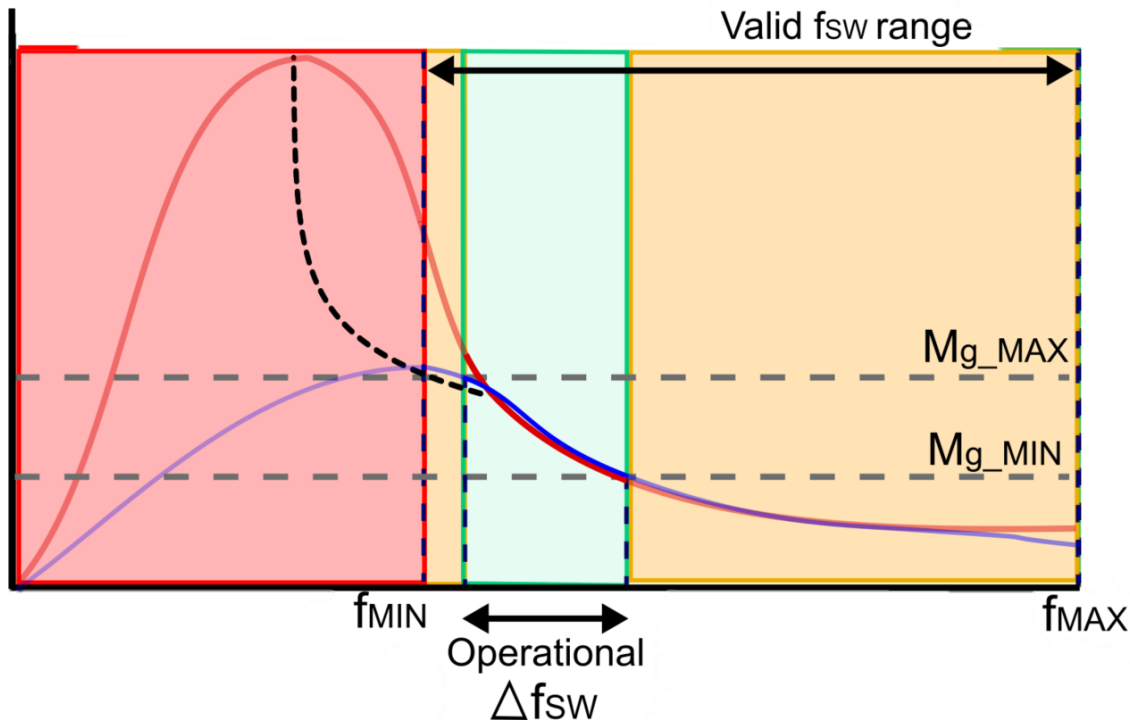
f_{SW} ウィンドウを定義する:

$$f_{\text{MIN}} < f_{\text{SW}} < f_{\text{MAX}}$$

ゴールは以下のゲイン要求を満たすこと:

$$f_{\text{SW_MIN}} \rightarrow M_{\text{G_MAX}}$$

$$f_{\text{SW_MAX}} \rightarrow M_{\text{G_MIN}}$$



インダクタンス

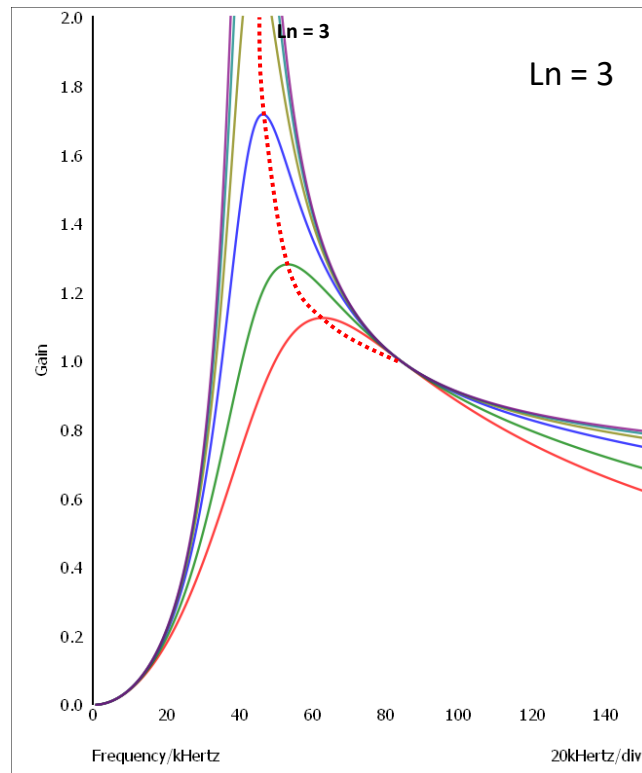
インダクタ:

- L_m : 磁化インダクタ
- L_r : 共振インダクタ
- L_n : 正規化インダクタ

$$L_n = \frac{L_m}{L_r}$$

Q(負荷)の同じ値において、周波数は正規化インダクタンスに依存します:

- より大きな L_n : より低い磁化電流 = より高い効率
- より小さな L_n : より高い昇圧ゲイン = より広い入力幅



インダクタンス

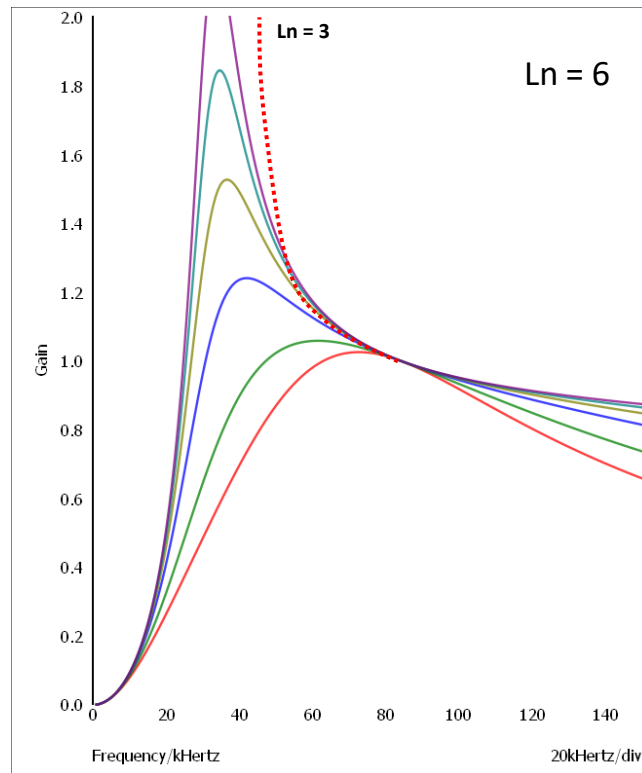
インダクタ:

- L_m : 磁化インダクタ
- L_r : 共振インダクタ
- L_n : 正規化インダクタ

$$L_n = \frac{L_m}{L_r}$$

Q(負荷)の同じ値において、周波数は正規化インダクタンスに依存します:

- より大きな L_n : より低い磁化電流 = より高い効率
- より小さな L_n : より高い昇圧ゲイン = より広い入力幅



インダクタンス

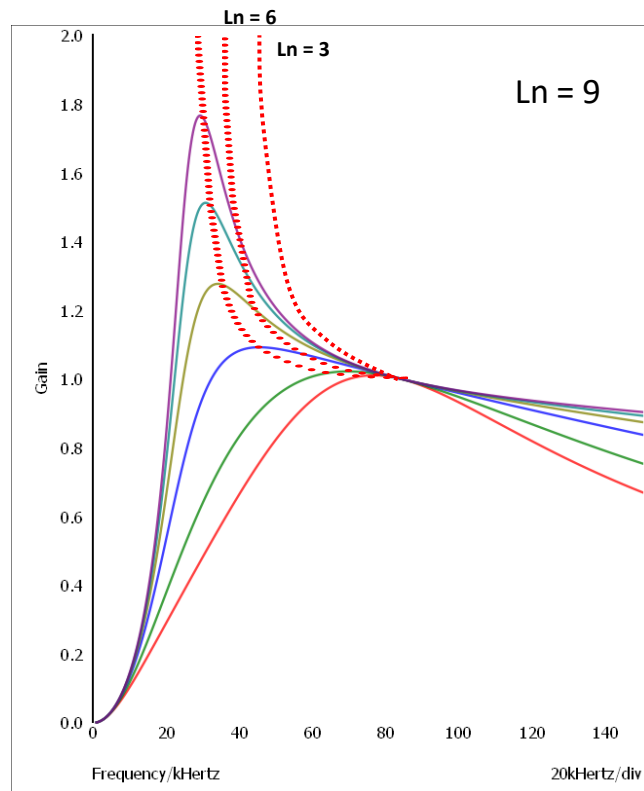
インダクタ:

- L_m : 磁化インダクタ
- L_r : 共振インダクタ
- L_n : 正規化インダクタ

$$L_n = \frac{L_m}{L_r}$$

Q(負荷) の同じ値において、周波数は正規化インダクタンスに依存します:

- より大きな L_n : より低い磁化電流 = より高い効率
- より小さな L_n : より高い昇圧ゲイン = より広い入力幅



インダクタンス

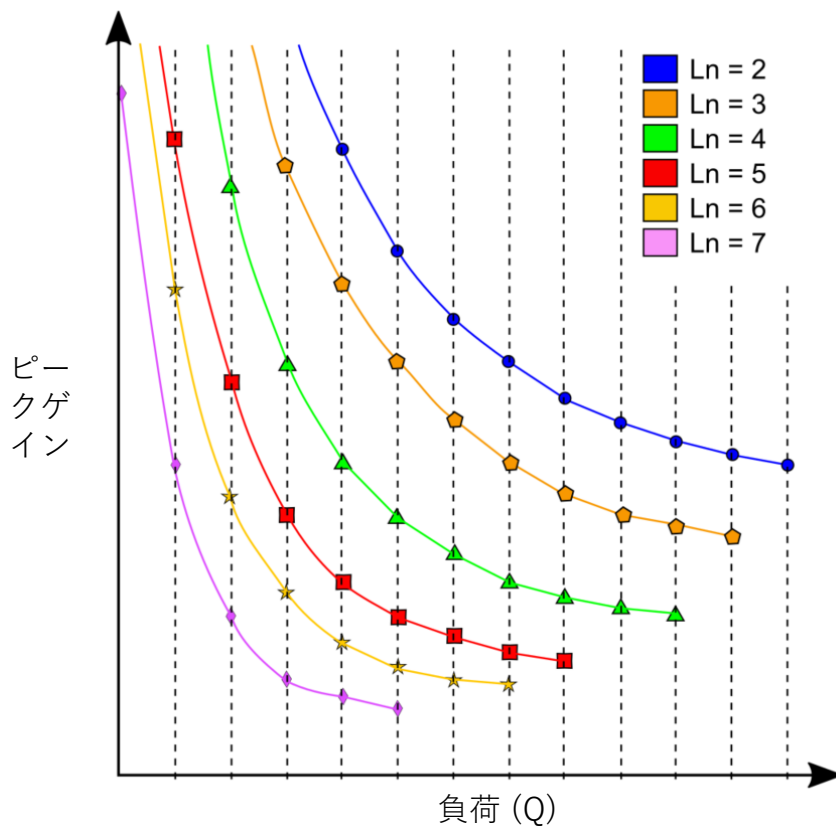
インダクタ:

- L_m : 磁化インダクタ
- L_r : 共振インダクタ
- L_n : 正規化インダクタ

$$L_n = \frac{L_m}{L_r}$$

Q (負荷) の同じ値において、周波数は正規化インダクタンスに依存します:

- より大きな L_n : より低い磁化電流 = より高い効率
- より小さな L_n : より高い昇圧ゲイン = より広い入力幅



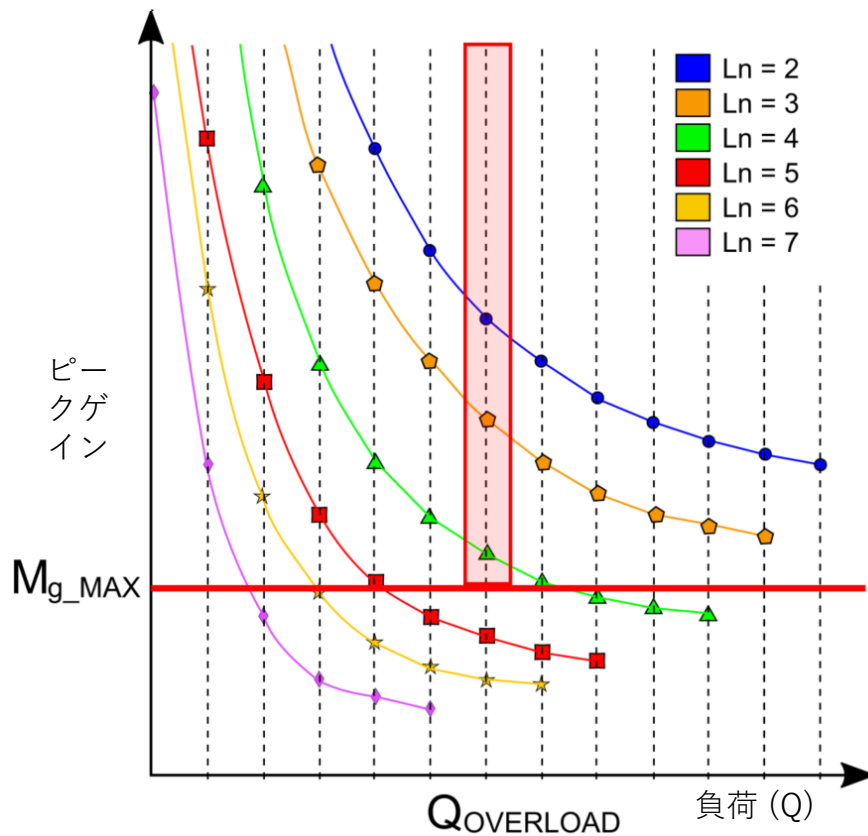
Ln、Qおよび周波数

負荷:

最悪のシナリオ: 過負荷 (高Q)

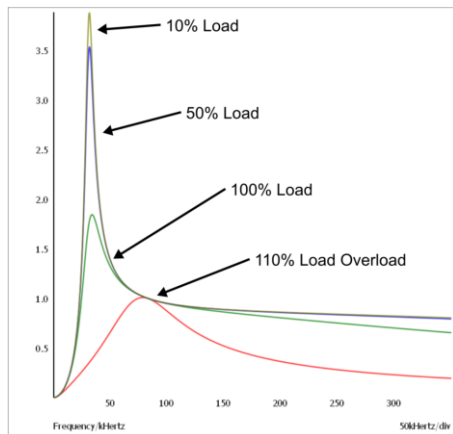
ゲイン:

最悪のシナリオ: 低 $V_{IN} \rightarrow M_{g_MAX}$

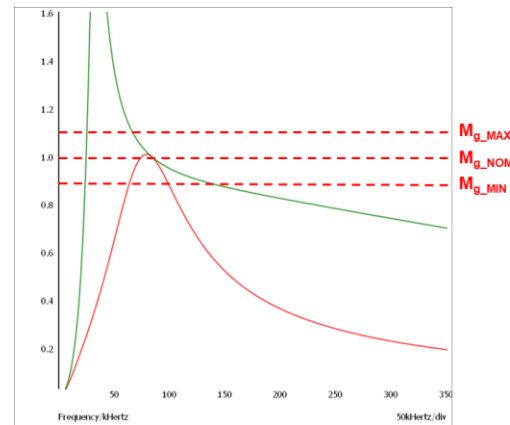


サマリー

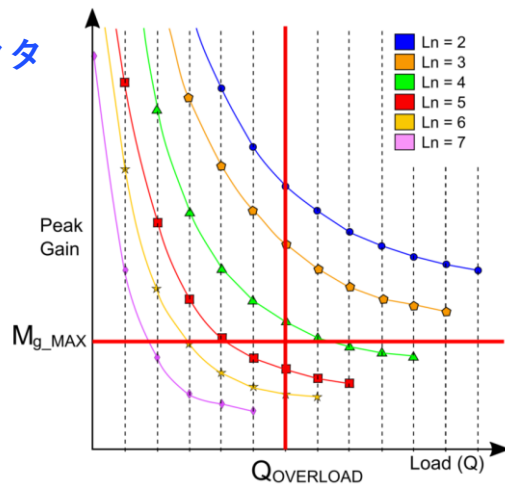
負荷



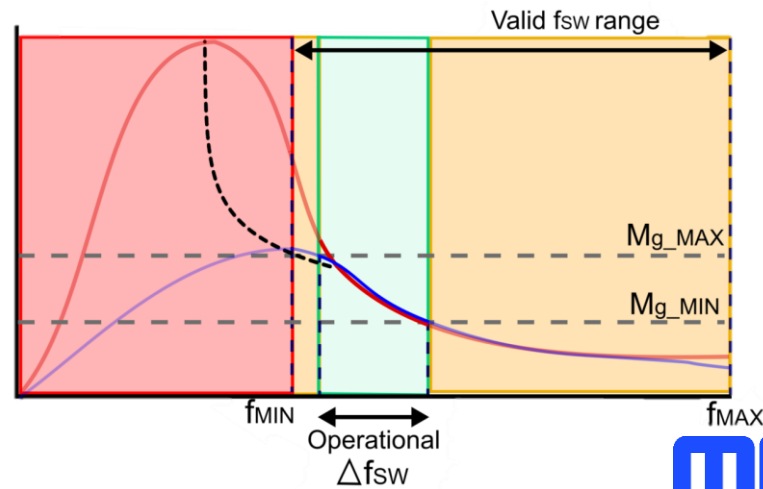
ゲイン



インダクタ



周波数

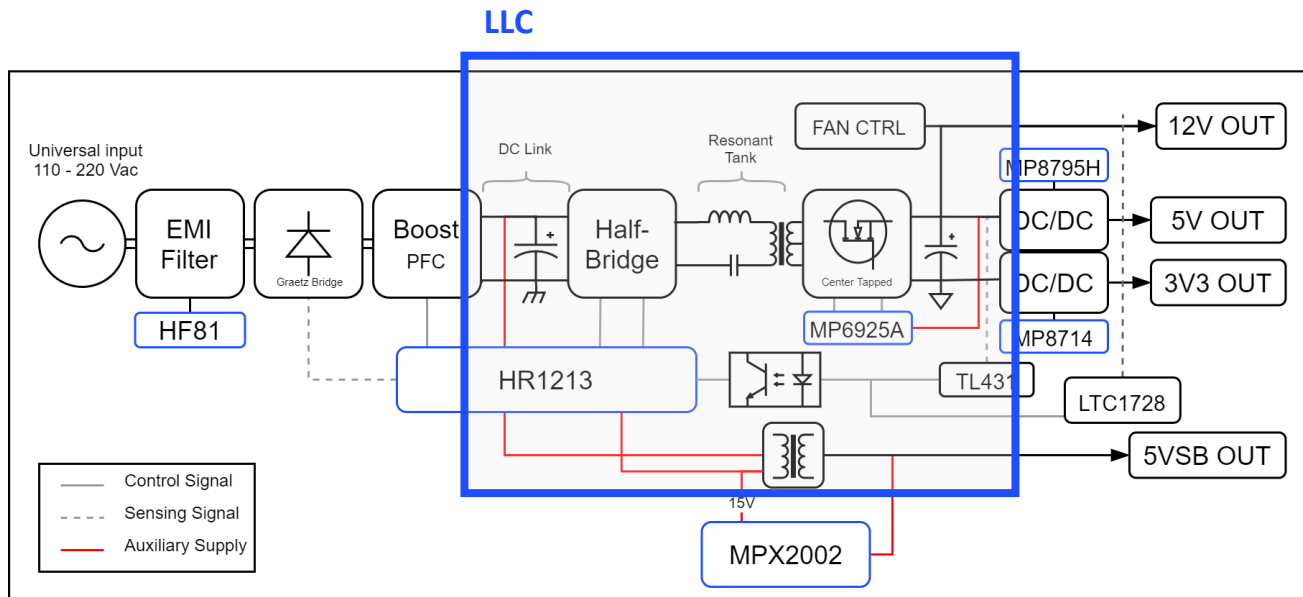


LLCコンバータ設計プロセス: LLC設計ツール

最適化されたLLC設計 第3部

リファレンスデザイン – 600W ATX PSU

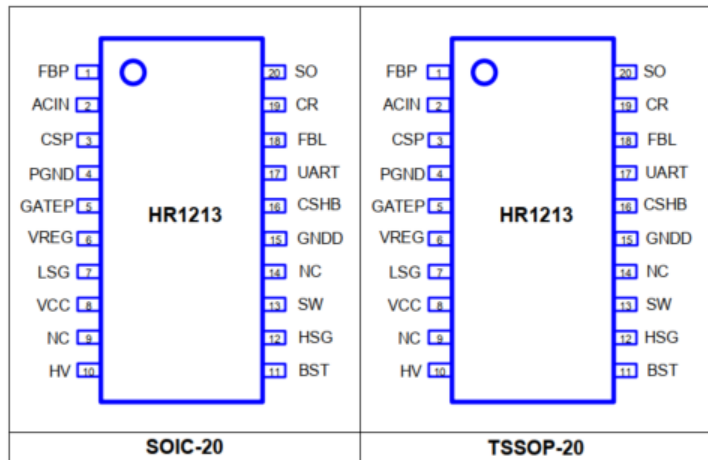
MPSより近日リリース予定



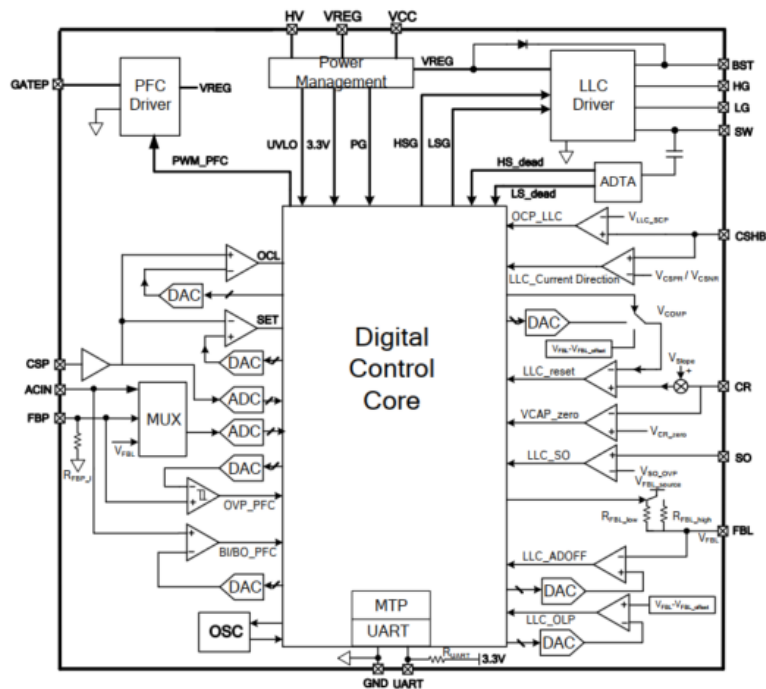
MPSのソリューション－HR1213

- マルチモードPFCおよび電流モードのデジタルLLC
- PFCとハーフブリッジLLCドライバを内蔵
- UART通信プロトコル

PACKAGE REFERENCE



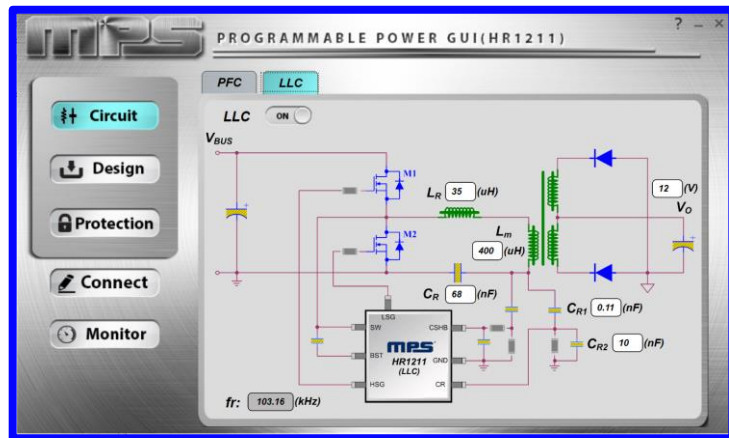
FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



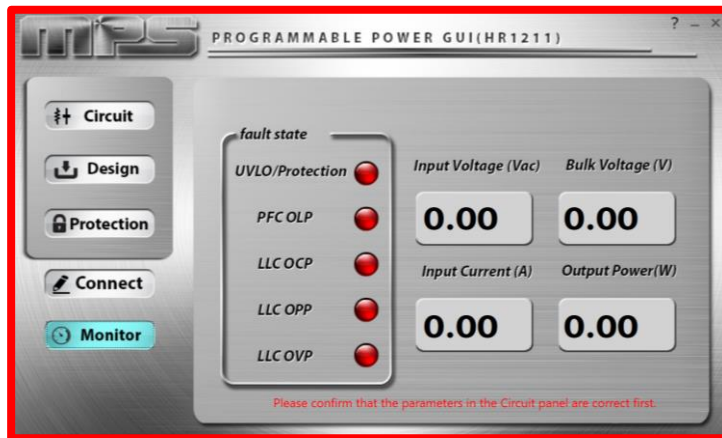
GUI UART – HR121x

UARTシングルワイヤ、シリアルプロトコル

主要パラメータを調整
(制御定数、保護など)



動作を監視
(入力電圧、入力電流など)



MPS



設計例: 600W ATX PSU

PC向け高電力、高効率PSU

- $V_{in} = 380\text{ V}$
- $V_{out} = 12\text{ V}$
- $I_{out} = 45 + 15\text{ A}$
- $P = 600\text{ W}$



Input

Minimum Voltage [V]

360

Maximum Voltage [V]

410

Typical Voltage [V]

380

Resonance Frequency [kHz]

100

Output

Voltage [V]

12

Overload [%]

10

Current [A]

55

Auxiliary Power [W]

設計手順

monolithicpower.com

MPS | Monolithic Power Systems

Products Applications **Design** Support About MPS Contact

Design Tools

- DC DC Designer Online
- DC DC Designer Windows
- MPSmart
- AC DC Design Tool
- Magnetic Design Tool**
- LLC Design Tool
- Manage Virtual Benchmarks

Application Reference Designs

- AC DC
- Automotive
- Battery Management
- Ventilator Open Source

Partner Reference Designs

- Cypress Reference Designs
- Xilinx Reference Design
- Intel-Altera Reference Designs
- Achronix Reference Designs
- Qualcomm Reference Designs

Position Sensors Design Support

- Application Notes

Live 18 Product Demos
1:1 Engineering Meetings
MPSNow Remote FAE Support

New Q4 & 2021 Products
Latest Technology
More Services

Learn More

Learn More

MPS LLC Tool

Power Modules Integrated Inductor

Configurable, Step Down, Step Up, USB, POE

3A 15A

Magnetic Position & Current Sensors

Monolithic ICs

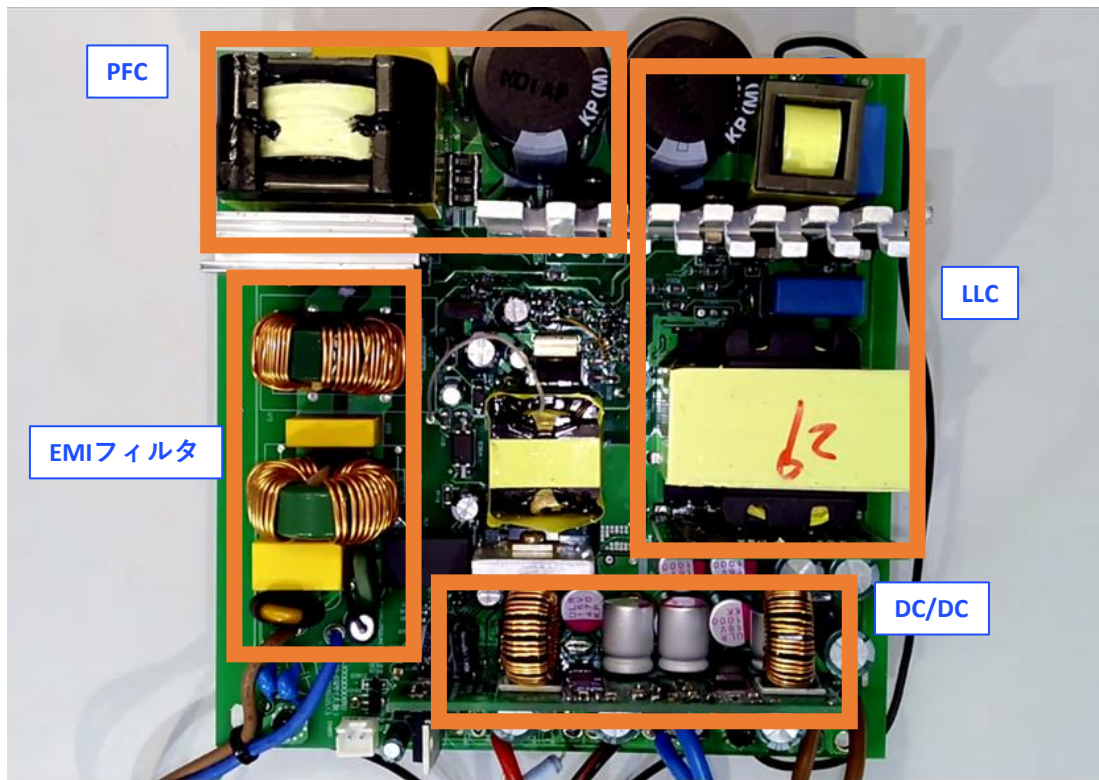
DC-DC, BMS, LED, E-Fuse, Sensors Motor Drivers, Automotive

Motor Solutions

Smart Motor Evaluators

MPS

600W ATX プロトタイプ写真



Final Results

Tank Design

L_r	C_r
35.00 μ H	73nF

Transformer Design

L_m	n
210uH	16

Frequency Range

$f_{s_{min}}$	$f_{s_{max}}$
67.00 kHz	200.00 kHz

RMS Current Values

Primary	Secondary
4.15 A	43.37 A

ありがとうございました