

新技術説明会

モバイル等小型電子機器向け電源 の超薄型小型化，低雑音化

デジタル選択方式による高効率スイッチトキャパシタ電源回路

High efficiency switched-capacitor power supply using digital-selecting method



革新する技術、創造する未来 ～夢へ翔る熊本高専～
 熊本高等専門学校
Kumamoto National College of Technology

情報通信工学科

大田一郎

2010年3月19日(金)

10:30 ~ 11:00

JSTホール

説明内容

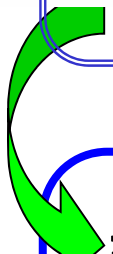
1. 研究の背景
2. SC電源とは
3. 従来のSC電源と問題点
4. 発明したSC電源（デジタル選択方式）
5. 想定される用途

DC-DC , DC-AC , AC-DC , AC-ACコンバータ
デジタルパワーアンプ , DAコンバータ

6. 実用化に向けた課題
7. 企業への期待
8. 本技術に関する知的財産権

背景

携帯機器の超薄型化・超小型化



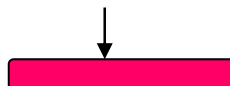
現在の電源



厚さ2.5mm

今後

要求される電源



厚さ1.5mm以下

電源のIC化

電子装置



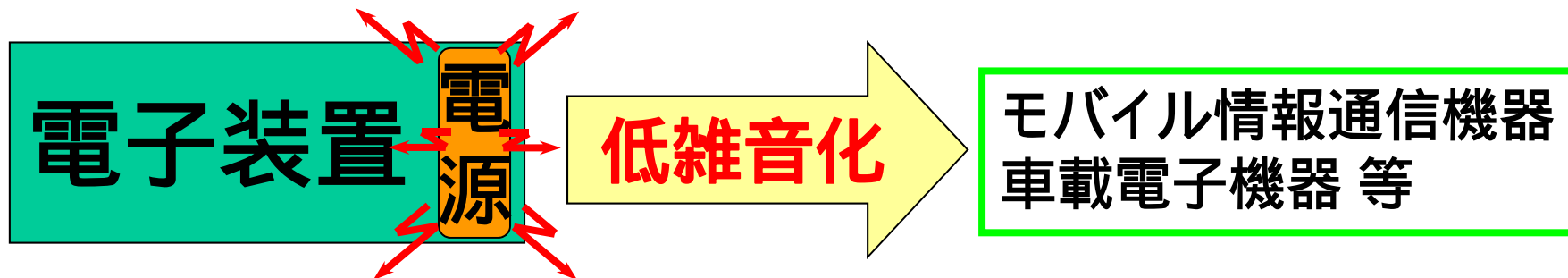
電源

モバイル機器

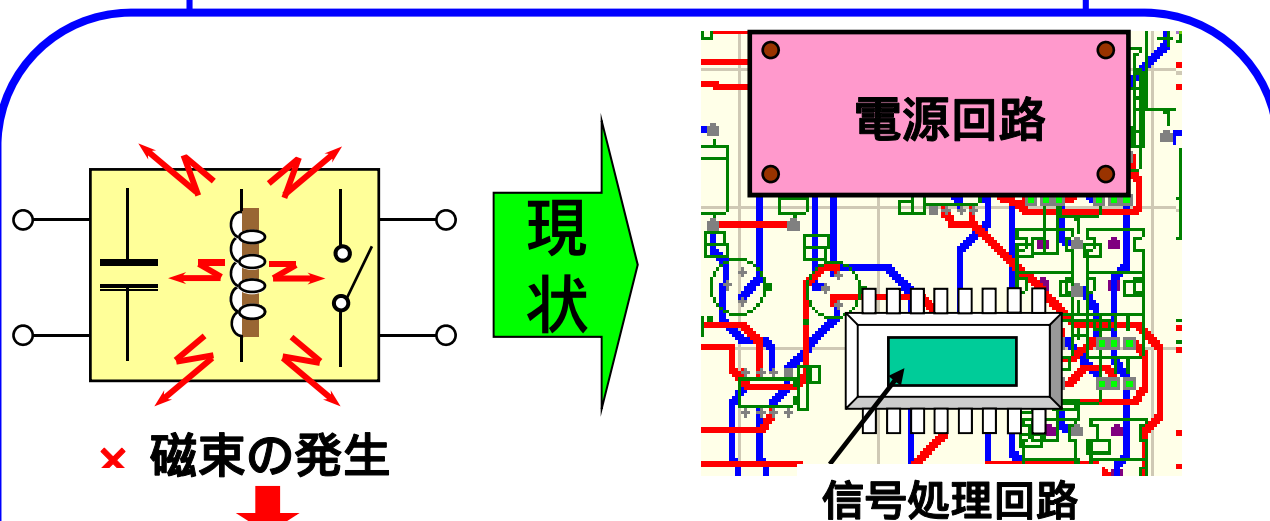
次世代の
電源開発

背景

電源の低雑音化



磁性部品を用いた現在の電源



電界はシールドで簡単に除去できる。
磁界はシールドしても簡単に除去できな
システムオンチップには無磁束化が不可欠

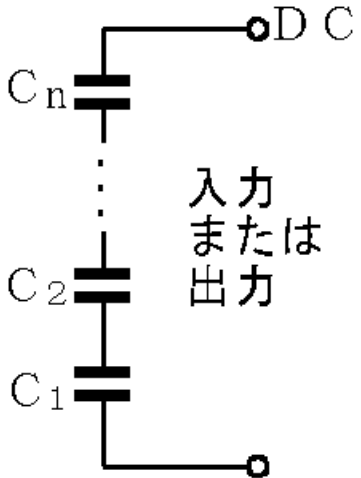
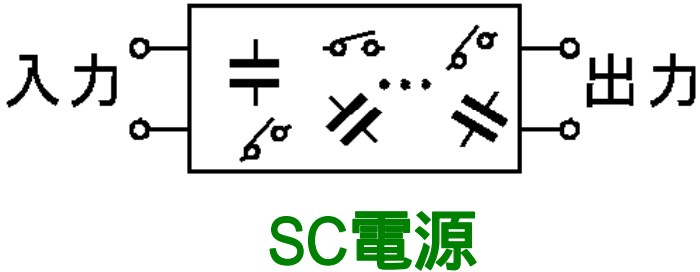
磁束が発生
しない電源

要求

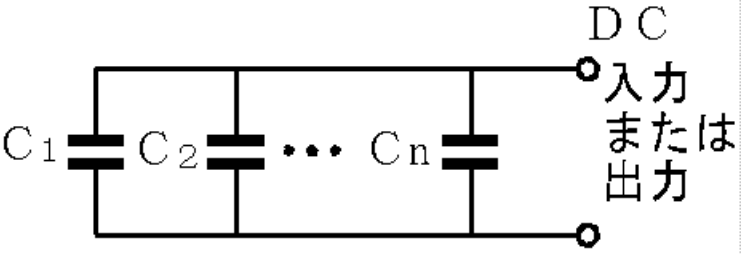
次世代の
コイルレス
電源開発

SC電源とは

コイルレスを実現するSC電源の原理

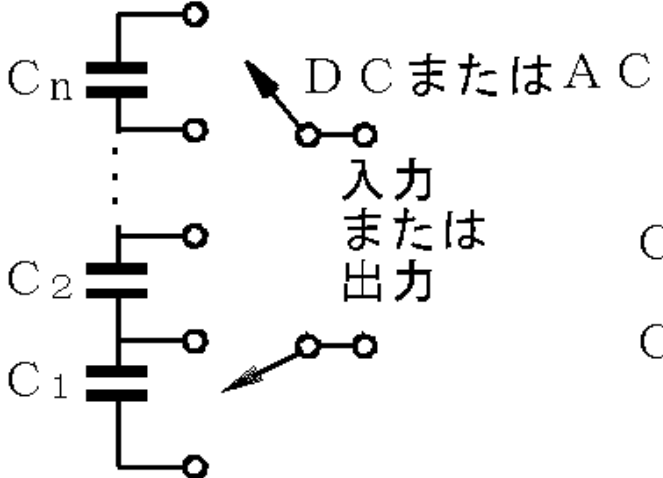


(a) 直列接続

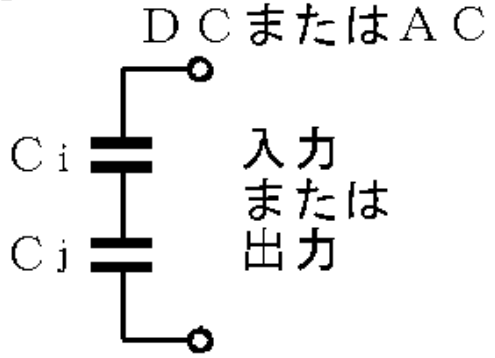


(b) 並列接続

直並列切換えSC電源の原理



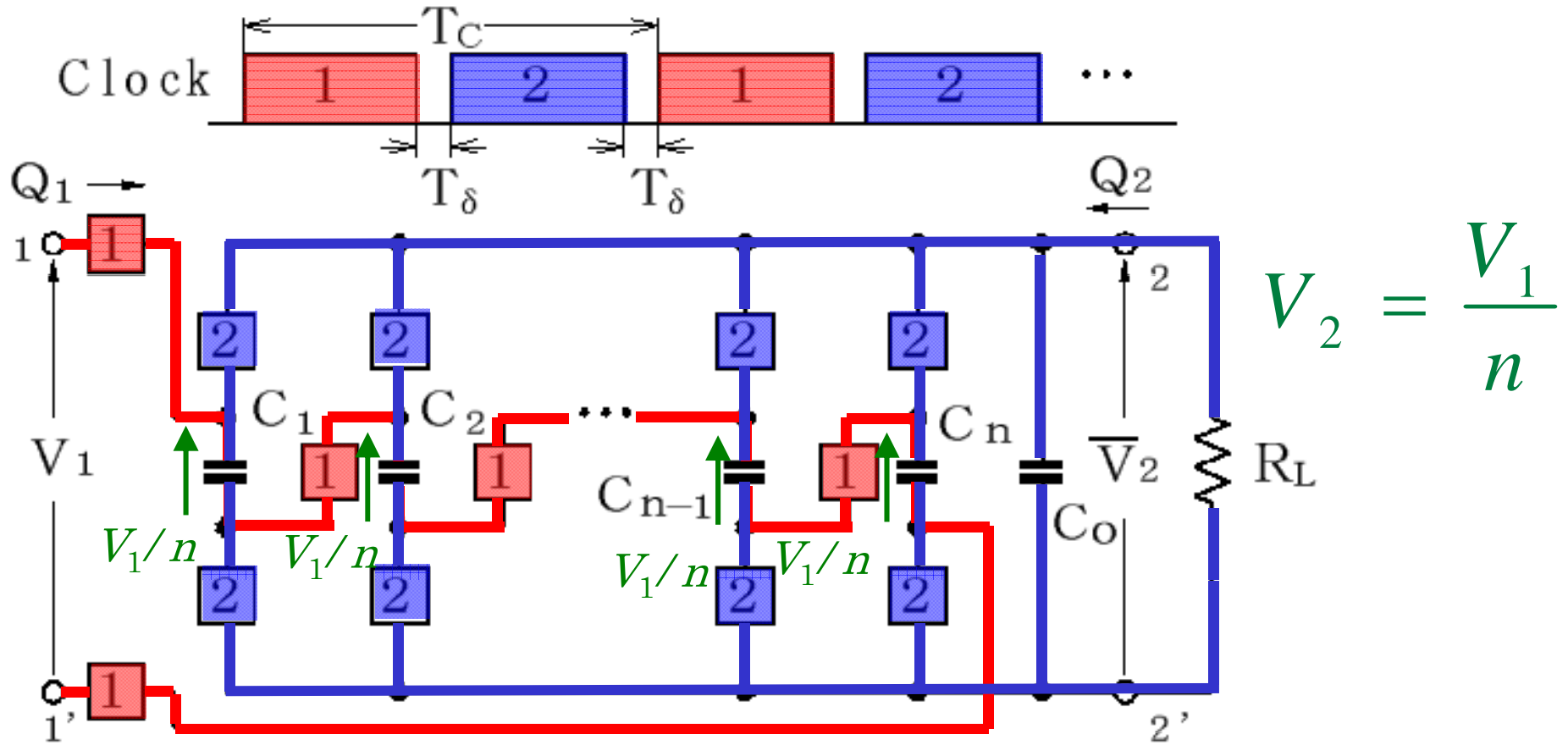
(a) 電圧選択



(b) 電圧の加算や減算

各種の方式によるSC電源の原理

従来のSC電源 **直並列切換えSC電源**



状態 2

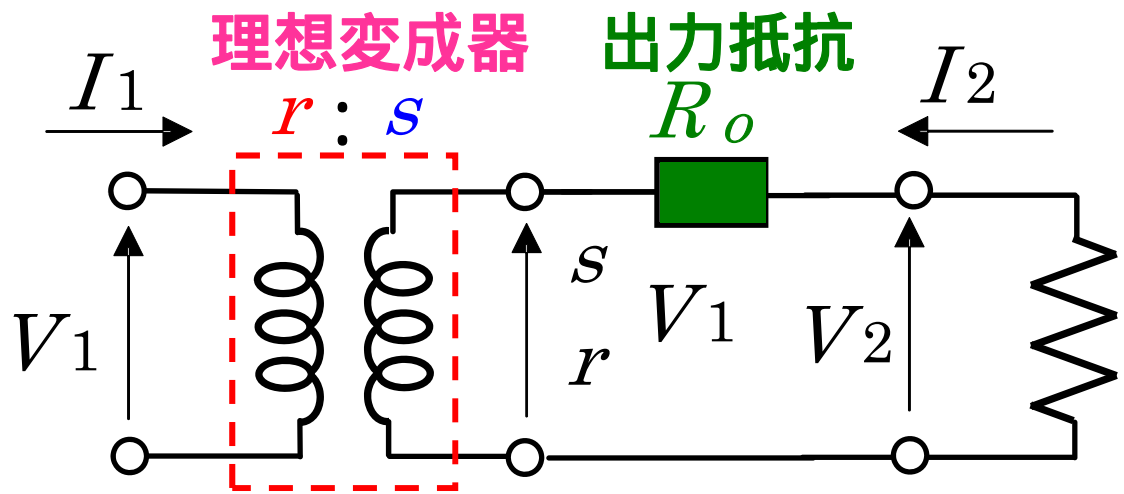
素子数: $n+1$ 個のキャパシタ
 $3n+1$ 個のスイッチ



n 通りの出力電圧

従来のSC電源

SC電源の効率特性



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2(-I_2)}{V_1 I_1}$$

理想変成器なので

$$\frac{(-I_2)}{I_1} = \frac{r}{s}$$

SC電源の等価回路

$$V_2 = \frac{r}{s} V_1 \frac{R_L}{R_L + R_O} = \frac{r}{s} V_1 \frac{1}{1 + R_O / R_L}$$

$$\eta = \frac{r V_2}{s V_1}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + R_O / R_L}$$



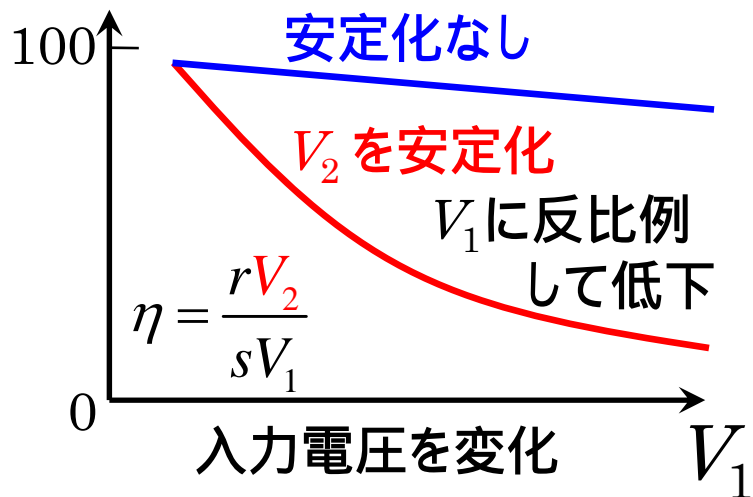
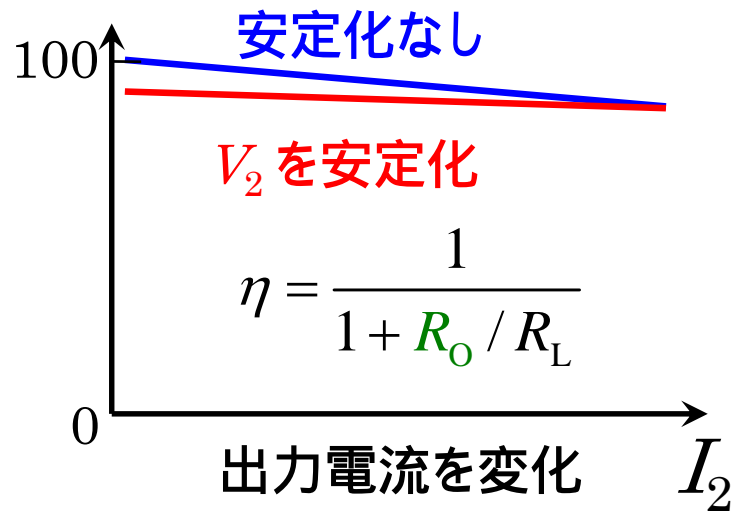
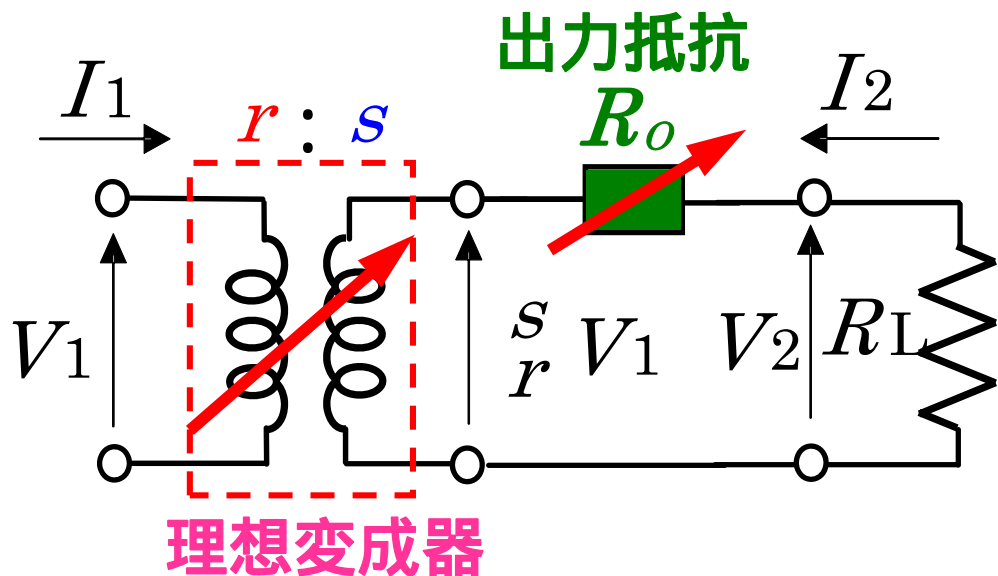
R_O R_L ならば**高効率**

V₂を安定化する方法

- ・ R_O を制御 → 効率低下
- ・ s と r を切換える → 高効率

問題点

V_2 を安定化した場合のSC電源の効率特性

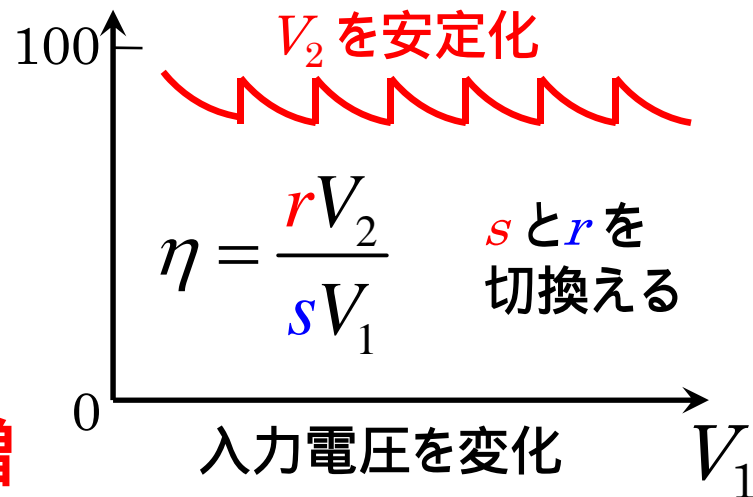


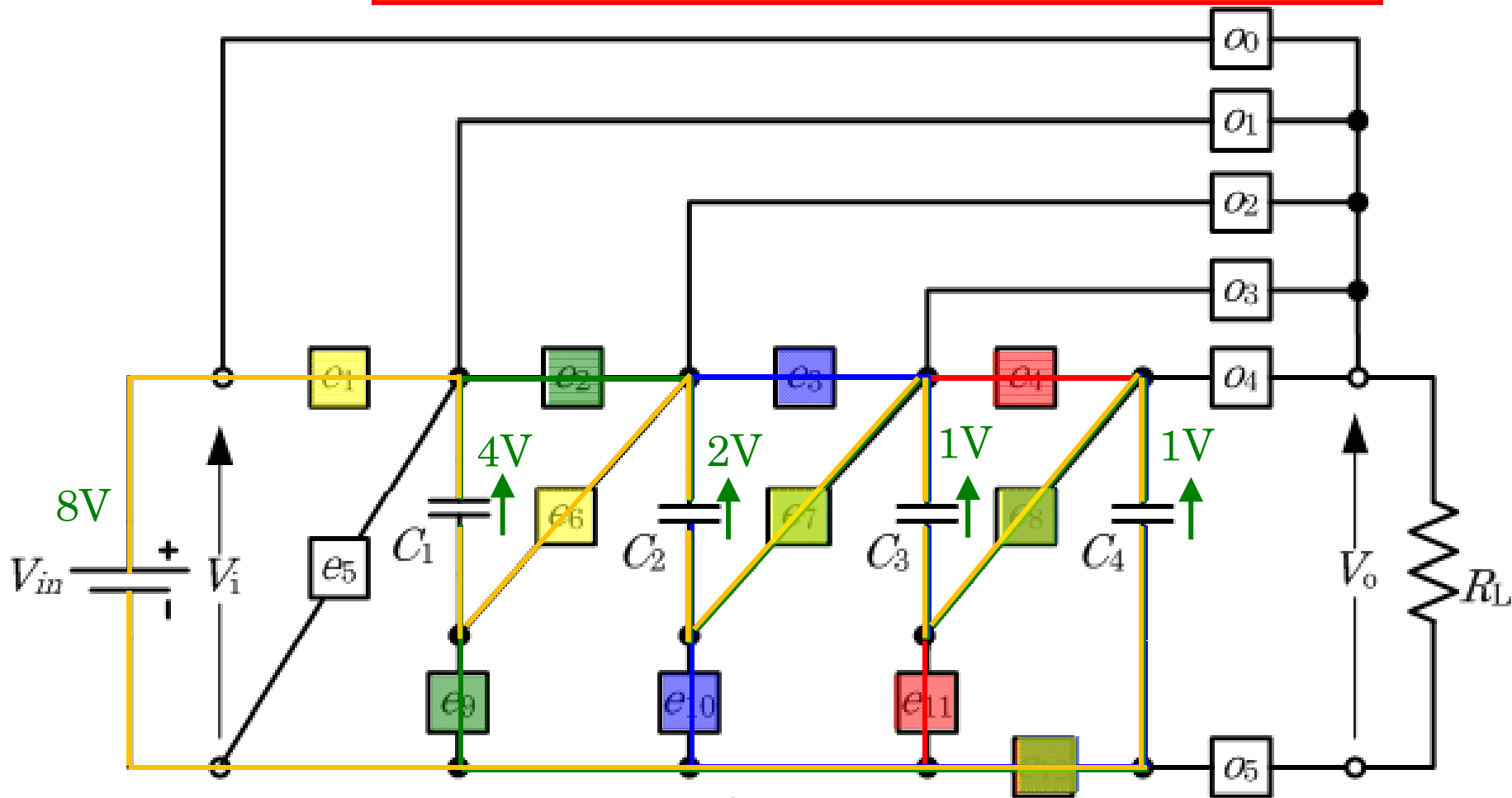
改善策

昇降圧比 s/r の数を増やす

問題

素子数: 増





状態 e_4

キャパシタの電圧比

$$\left(V_{in} : C_1 : C_2 : C_3 : C_4 \right)$$

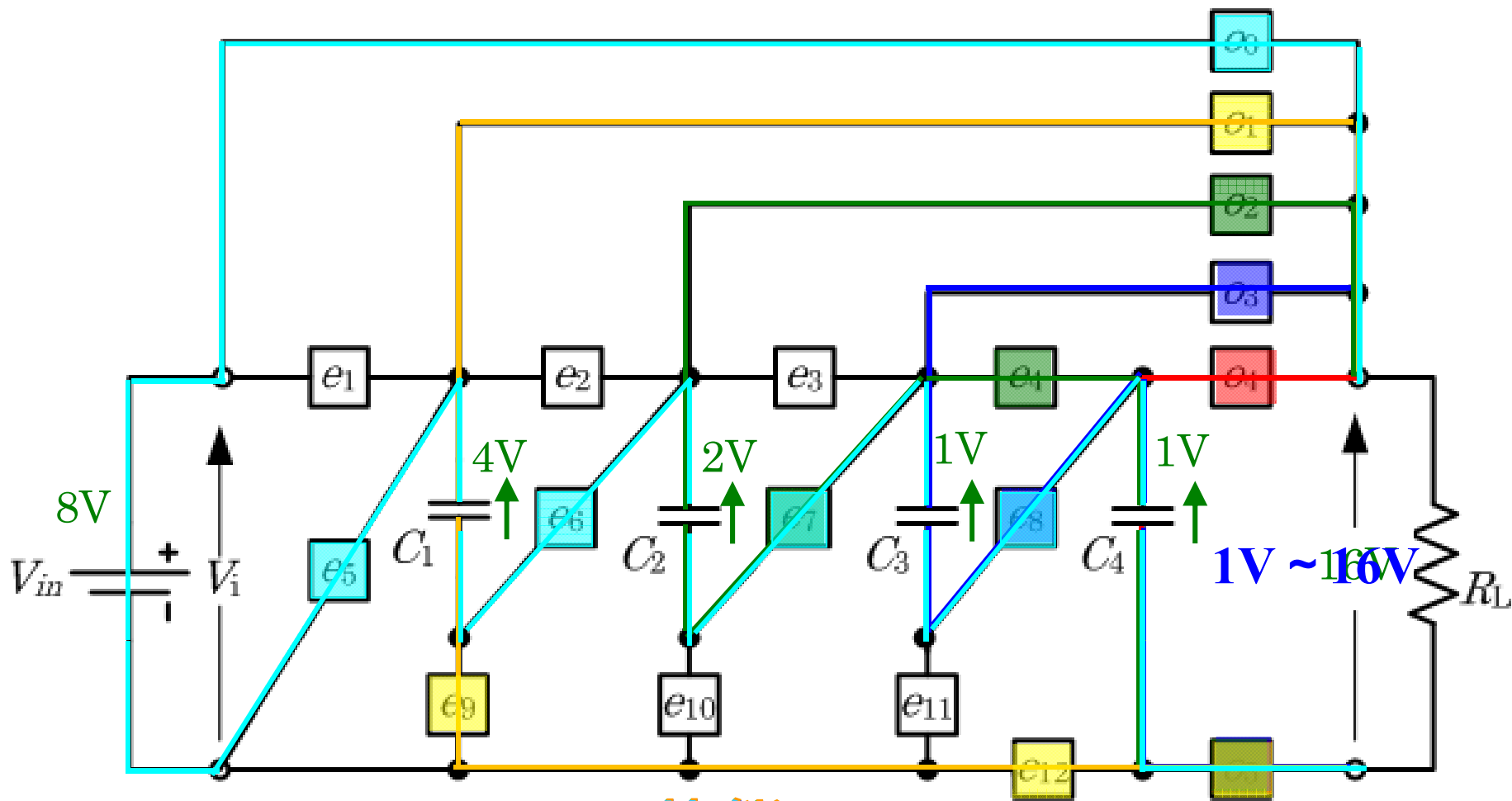
$$\left(8 : 4 : 2 : 1 : 1 \right)$$

n 番目のキャパシタ電圧

$$V_{Cn} = V_{in} / 2^n$$

発明したSC電源

放電時の状態変化と出力電圧



出力電圧

4個のキャパシタで1V ~ 16Vの
 $2^4=16$ ステップの電圧が得られ
る。

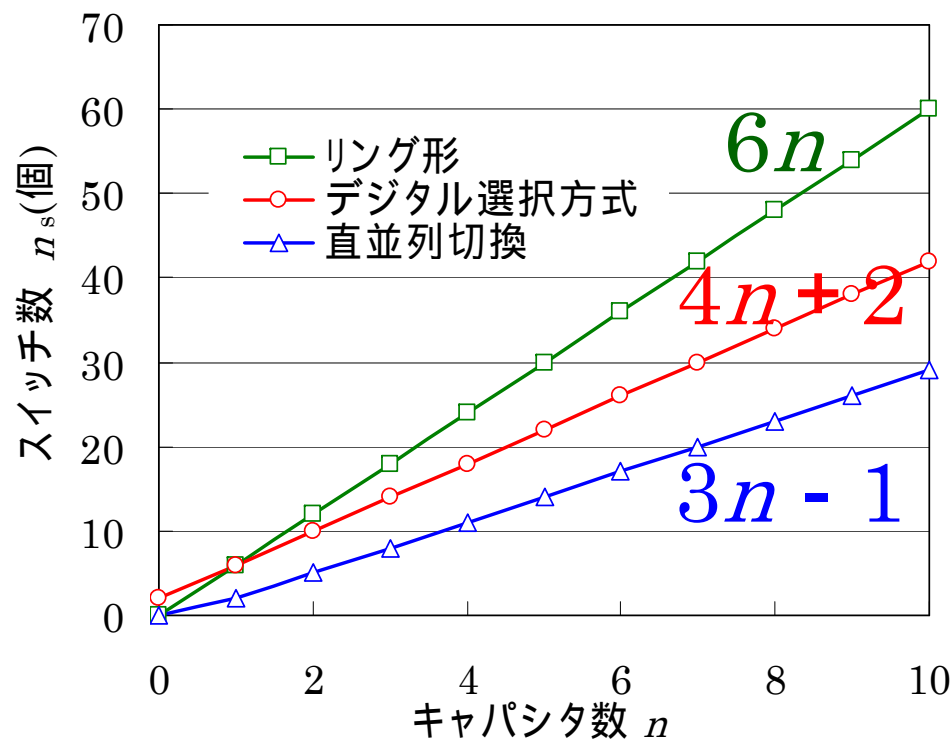
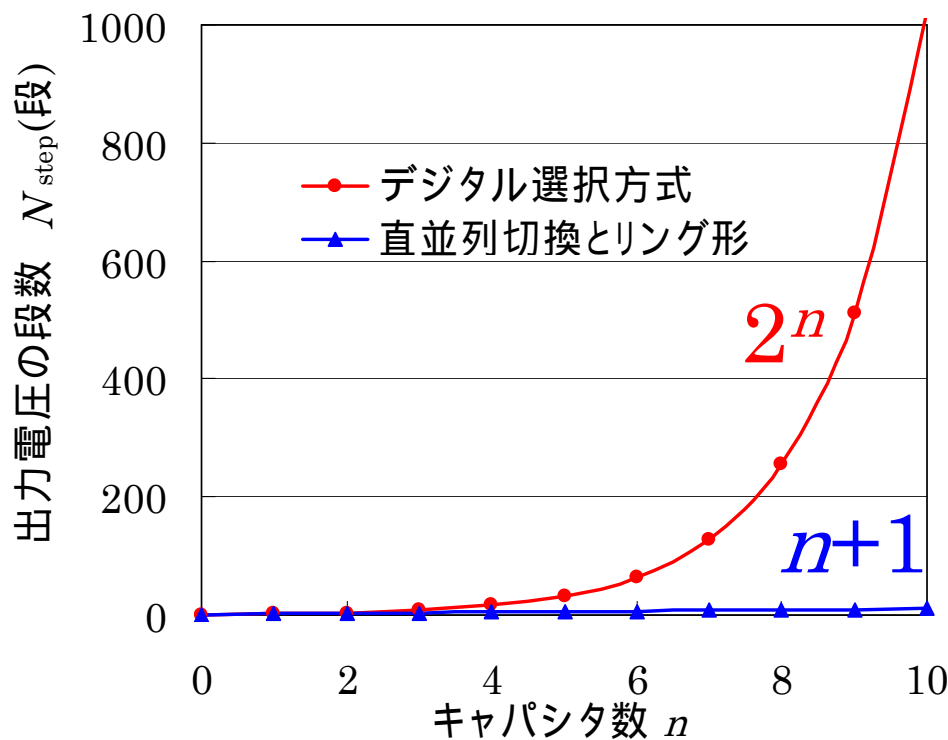
状態 016

n 個のキャパシタで 2^n 通りの出力

↓
デジタル選択方式

従来との比較

従来の回路との比較

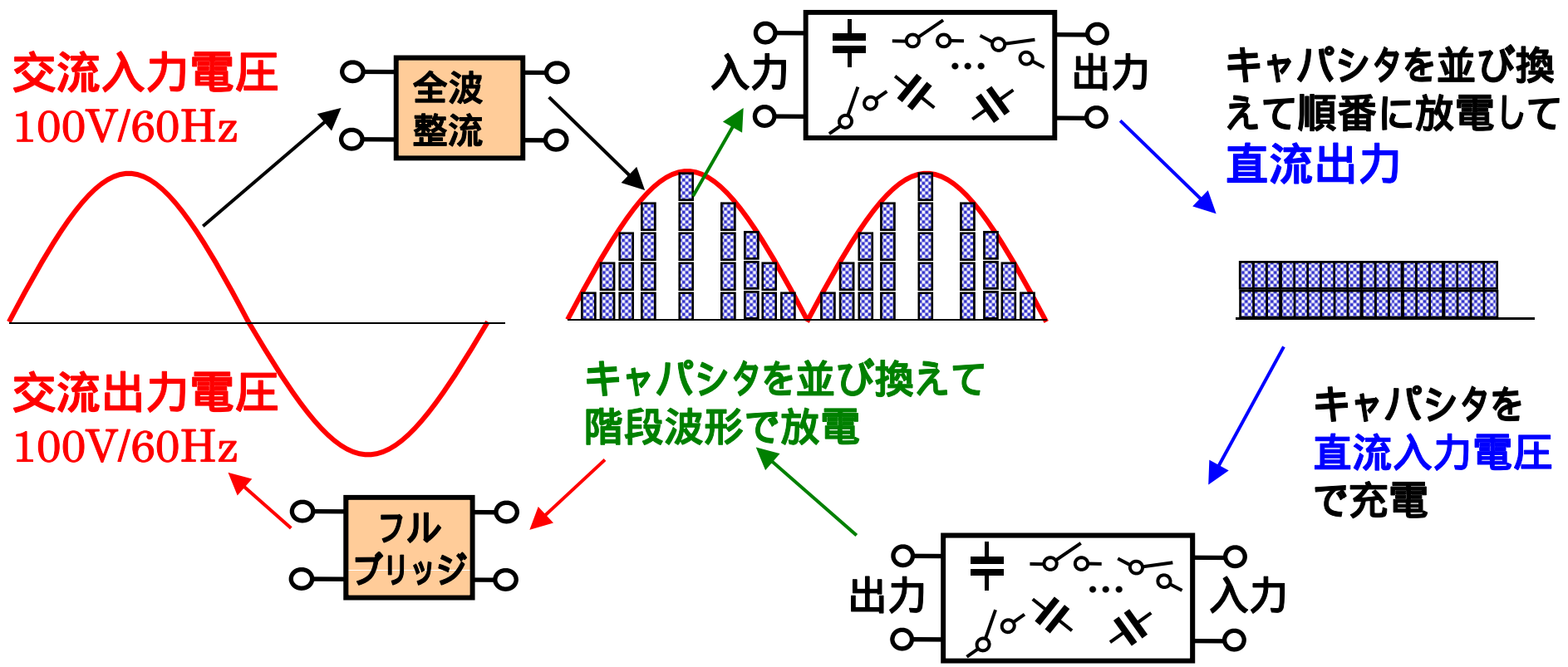


キャパシタ数 n を変化したときの得られる出力電圧レベル
と必要なスイッチ数

SC電源の交流変換方法

スイッチトキャパシタAC-DCコンバータの原理

キャパシタを並び換えて複数個のキャパシタに電圧サンプル




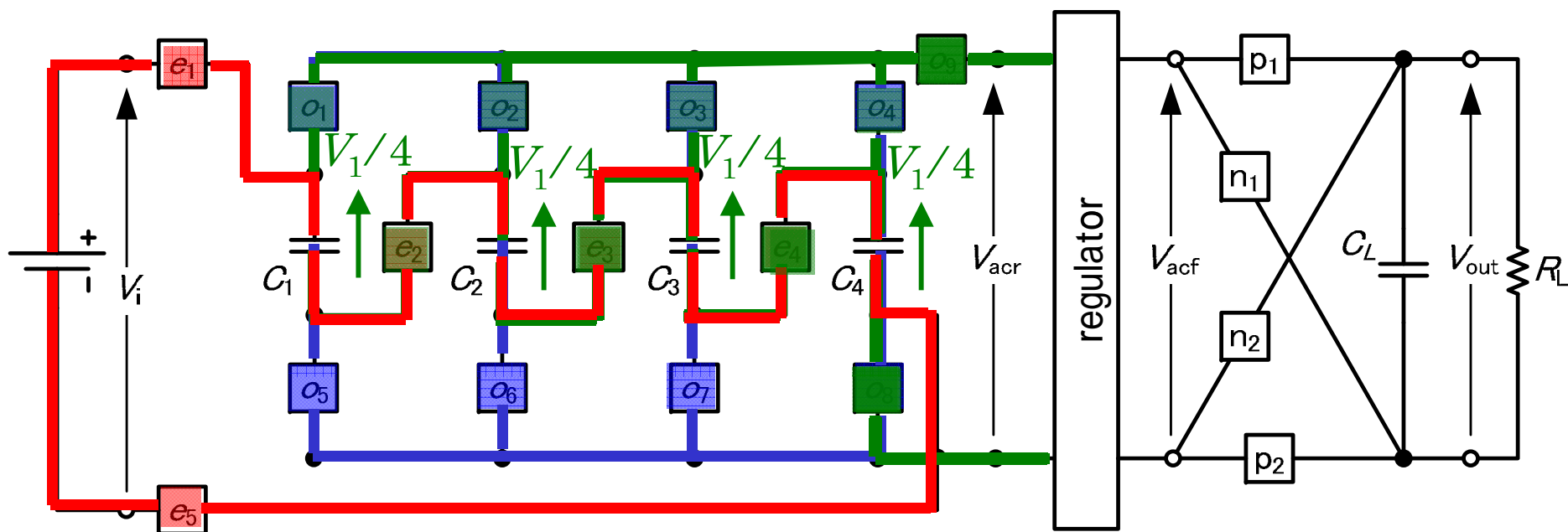
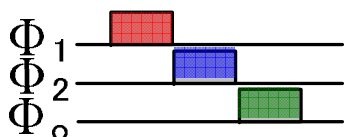
スイッチトキャパシタDC-ACコンバータの原理

従来のSC電源

直並列切換えSCの交流出力電源

(DC-ACコンバータ)

Switch 



状態0

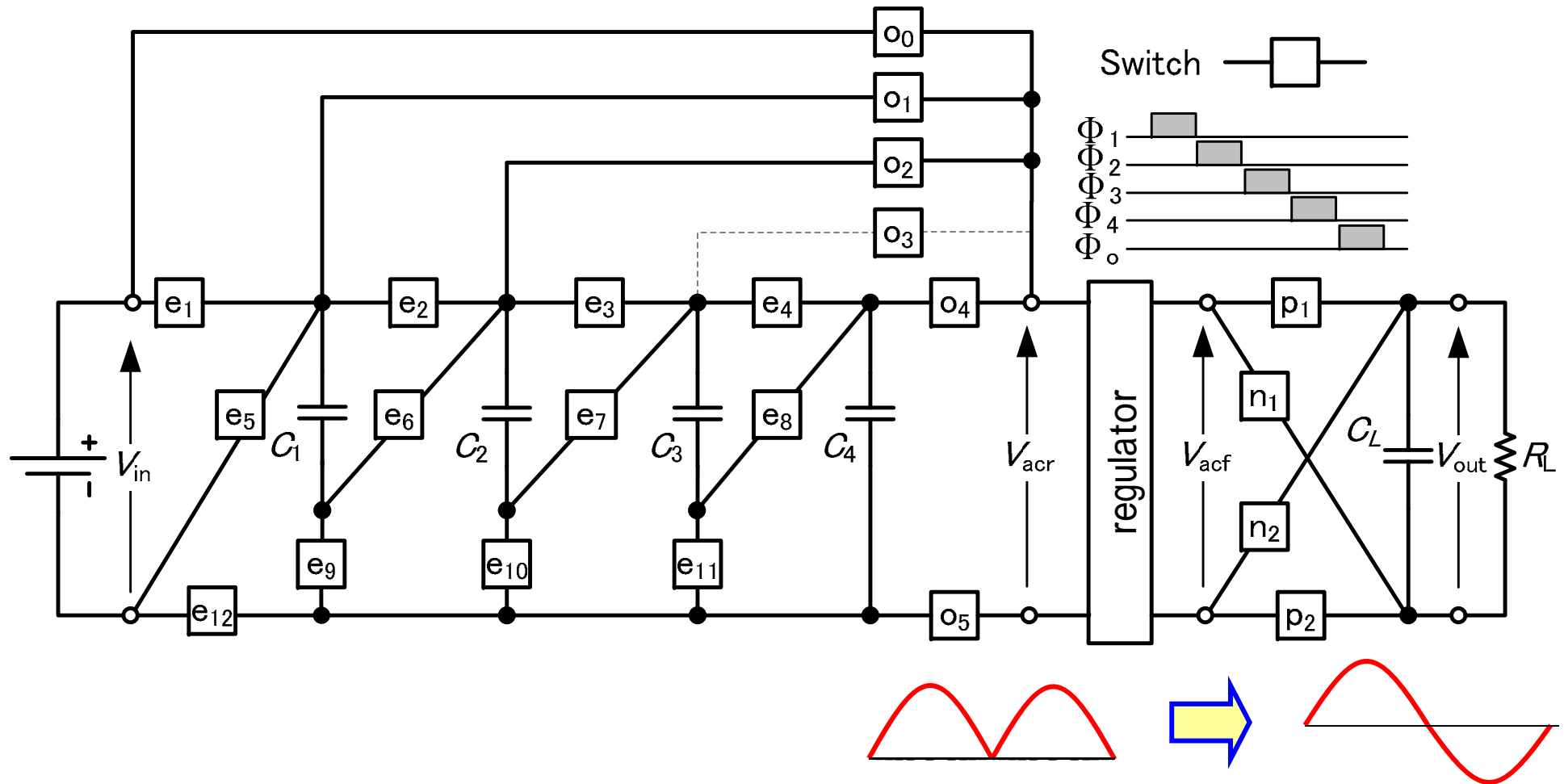
素子数: n 個のキャパシタ
 $3n + 2$ 個のスイッチ



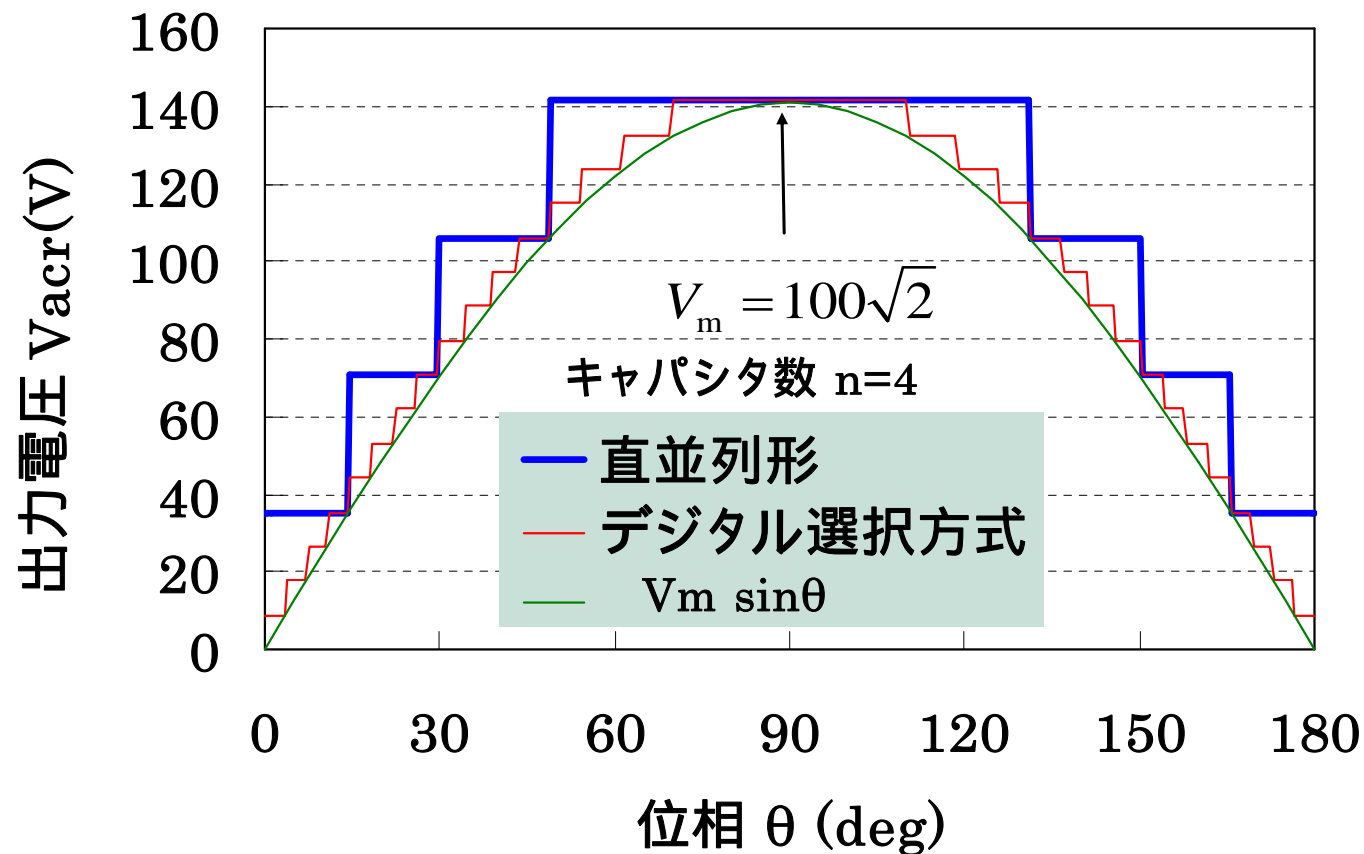
n 通りの出力電圧

提案のSC電源

デジタル選択方式による DC-ACコンバータへの応用



出力段数の比較



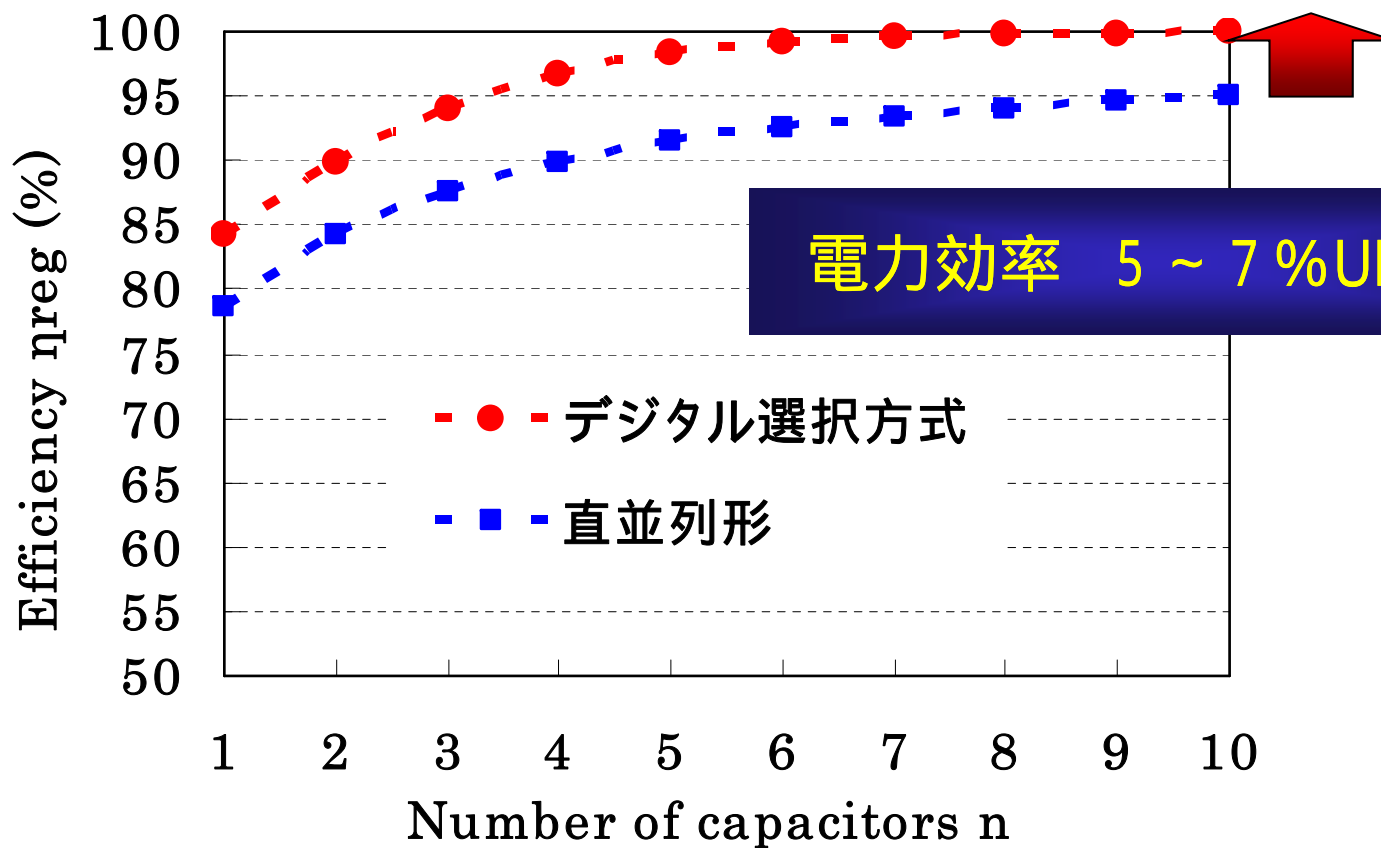
レギュレータの入出力電圧波形(キャパシタ数4個)

従来との比較

理想状態の解析

階段波の段数 n_{step} で求めた効率 η

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\pi n_{\text{step}}^2}{4 \sum_{k=0}^{n_{\text{step}}-1} \sqrt{n_{\text{step}}^2 - k^2}}$$

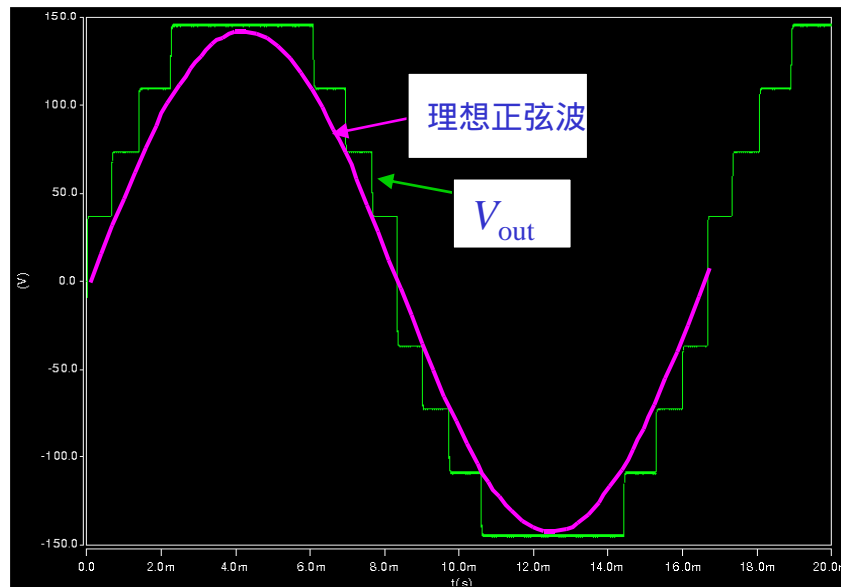


電力効率 5 ~ 7%UP !!

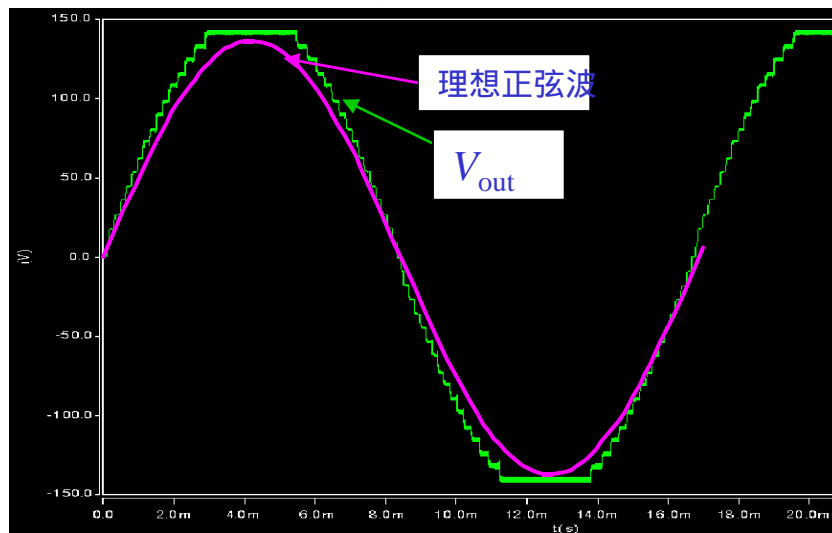
キャパシタ数と電力効率の関係

従来との比較

シミュレーション結果



直並列切換え方式



デジタル選択方式

キャパシタ4個の場合で比較

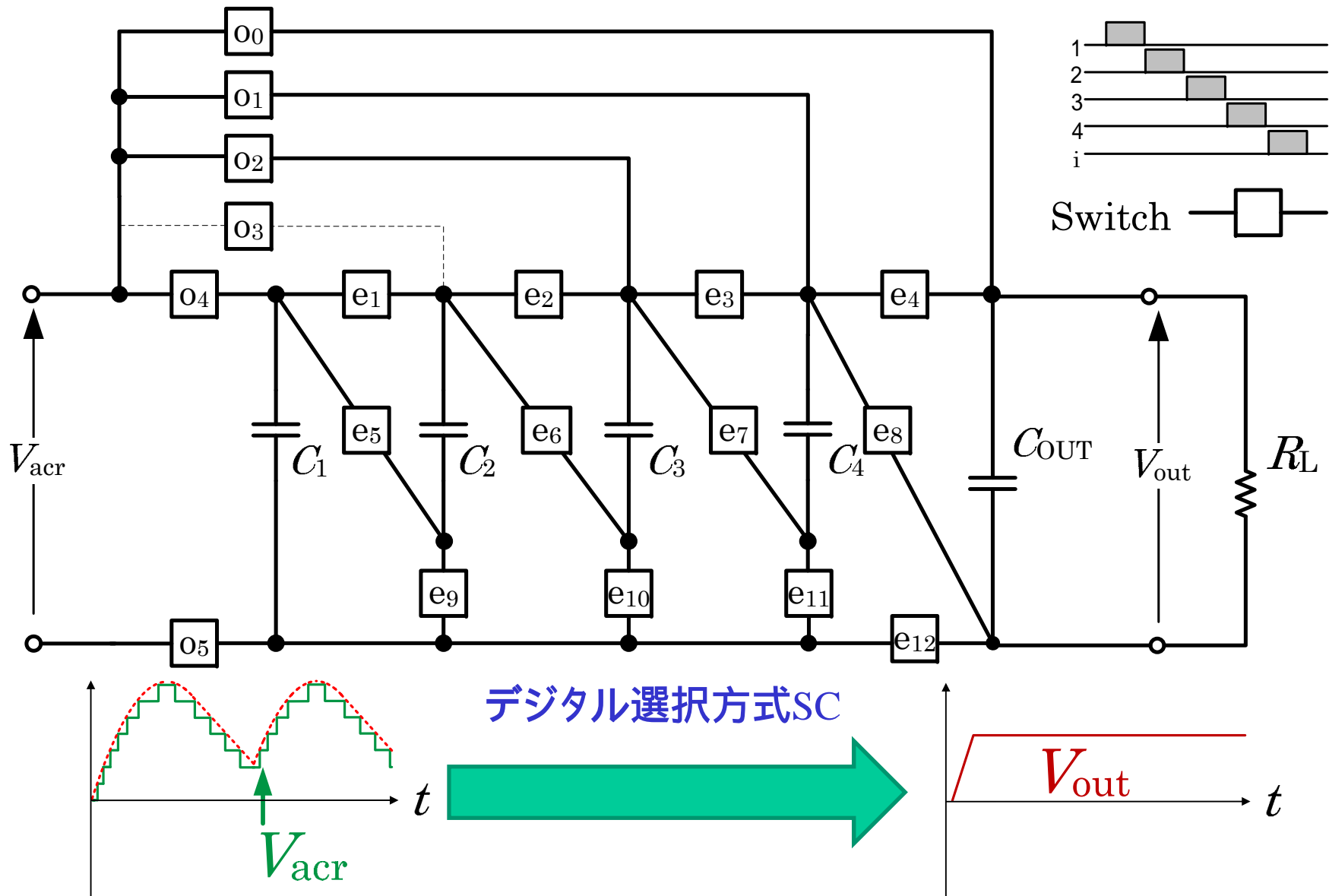
入力電圧	$V_{in} = 150 \text{ V}$ (従来方式) $V_{in} = 75 \text{ V}$ (提案方式)
キャパシタ	$C_1 = C_2 = \dots = 33 \text{ } \mu\text{F}$
オン抵抗	$R_{on} = 0.1 \text{ } \Omega$
クロック周波数	$f_c = 167 \text{ kHz}$ (従来方式) $f_c = 100 \text{ kHz}$ (提案方式)
負荷抵抗	$R_L = 100 \text{ } \Omega$
出力電圧	$V_{ac} = 100 \text{ V}$ $f_{ac} = 60 \text{ Hz}$

提案回路では90.9%の 高効率が得られた

同じキャパシタの数でも、階段波の段数は
 従来方式: 4段
 提案方式: 16段
 と提案方式の方が優れている。

提案方式の応用

デジタル選択方式の AC-DCコンバータ

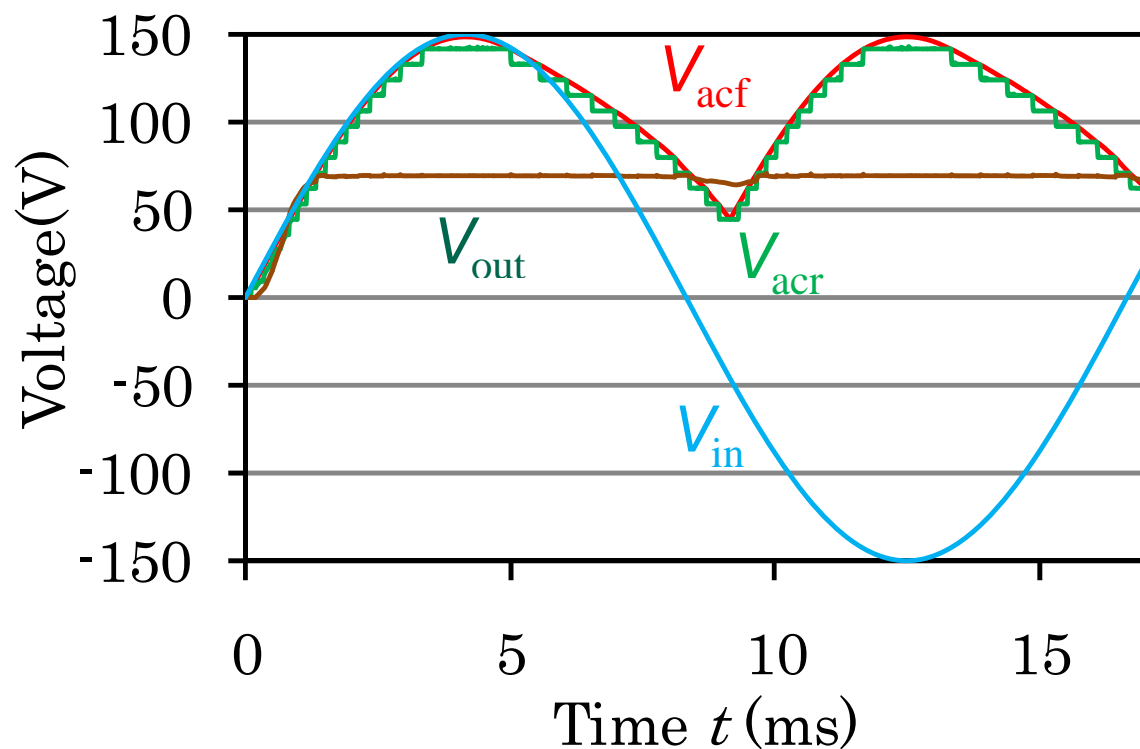


提案方式の応用

シミュレーション波形

AC-DCコンバータの電源投入時の波形

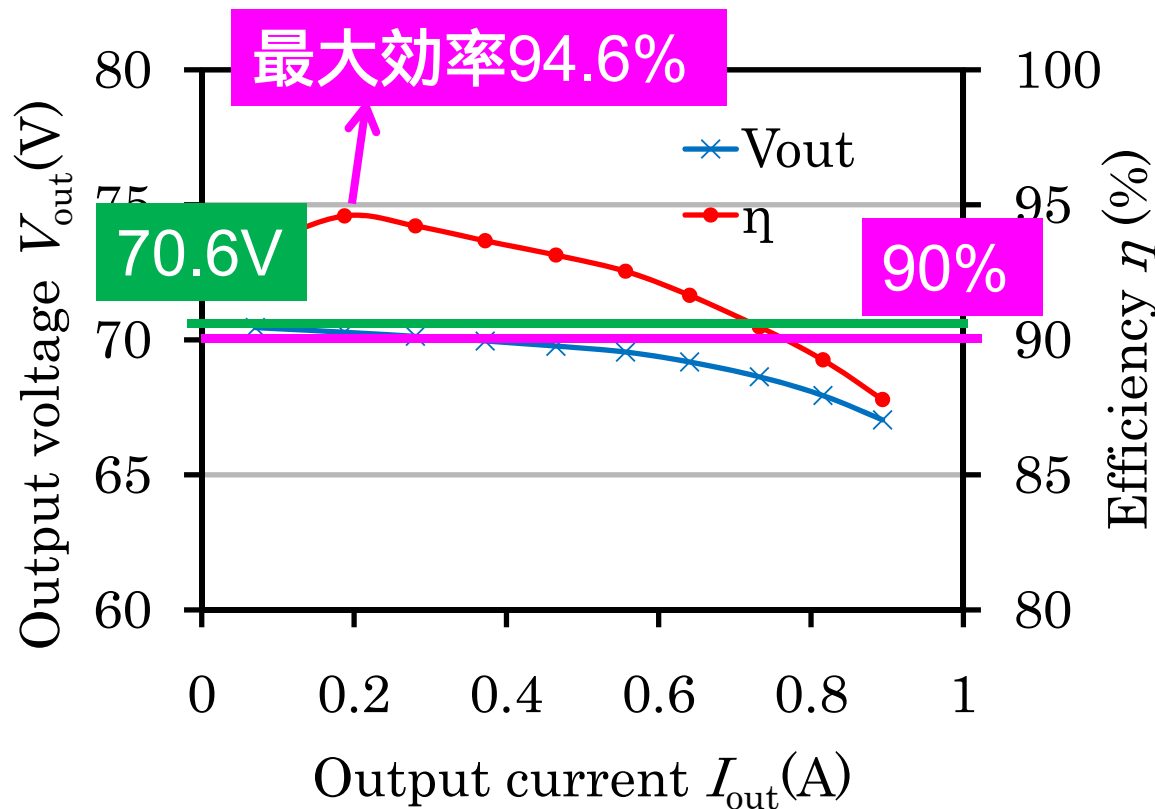
解析条件



入力電圧の振幅 V_{inmax}	150V
入力電圧の周波数 f_{ac}	60Hz
平滑キャパシタ C_{IN}	22 μ F
出力電圧の設定値 V_{out}	70.6V
電荷転送キャパシタ $C_1=C_2=\dots=$	33 μ F
オン抵抗 R_{on}	0.1 Ω
クロック周波数 f_c	100kHz
負荷抵抗 R_L	100 Ω

出力特性・電力効率

AC-DCコンバータの特性



出力特性・電力効率

解析条件

V_{inmax}	150V
f_{ac}	60Hz
C_{IN}	22 μ F
V_{out}	70.6V
$C_1=C_2=\dots=$	33 μ F
R_{on}	0.1 Ω
f_c	100kHz

想定される用途

開発する電源の特長

形軽量で磁性的なノイズが殆ど出ない

従来のSC電源と比べて素子数が飛躍的に少ない

- 具体例 -

DC-DC , DC-AC , AC-DC , AC-ACコンバータ

デジタルパワーアンプ , DAコンバータ

想定される業界

携帯機器製造メーカー

家電品製造メーカー

想定される市場規模

未知数

実用化に向けた課題

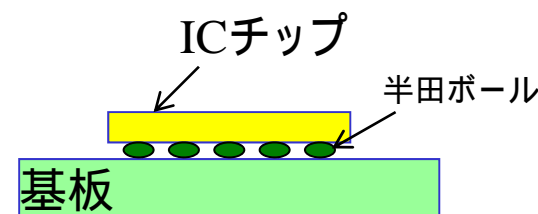
発明したSC電源の性能

シミュレーションで動作確認と特性評価を行っている。
一部は個別部品での特性評価も行っている。

× 外付け部品がコイルを用いた電源より多い。

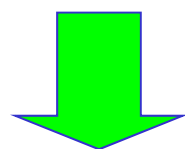
→ **全てをIC化することで解決したい。**

今後、損失を減らし更に高効率化するため



BGA

- パワー用に特化したICプロセスを用いる。
- ボンディングを使用せず基板直付け(BGA)にする。



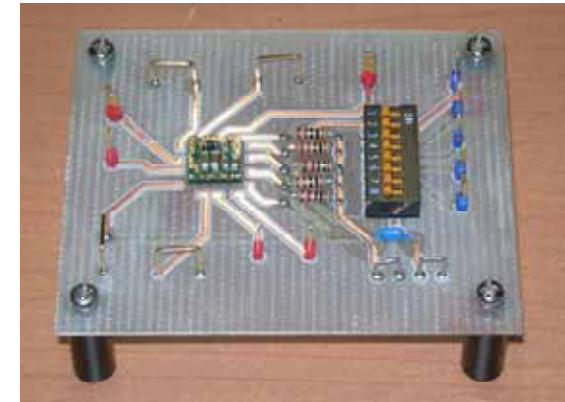
レイアウトパターンの設計
パターンからの素子抽出した特性評価

次世代の超小型・高効率電源を開発

企業への期待

回路システム研究室で出来ること

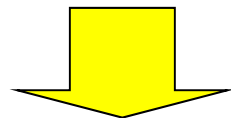
- 計算機シミュレーション
- IC化後の実測評価



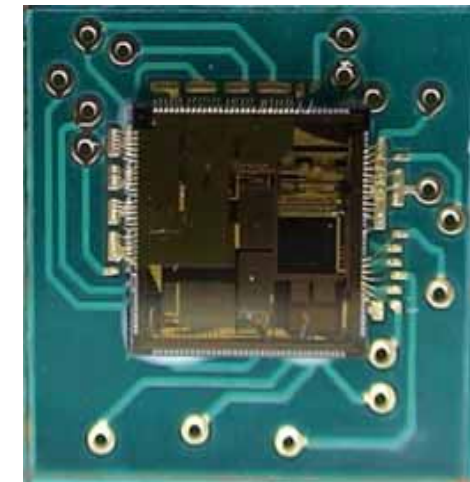
ベアチップ電源の
評価基板の製作

集積化技術をもつ企業

- IC化のレイアウト設計や製造
- 共同研究・開発を強く希望



次世代の電源を共に開発したい



ICチップの開発

本技術に関する知的財産権

発明の名称	スイッチトキャパシタ電源装置
出願番号	特願2009-219648号
出願日	平成21年9月24日
発明者	大田一郎, 寺田晋也
出願人	独立行政法人 国立高等専門学校機構

お問い合わせ先

熊本高等専門学校

地域イノベーションセンター

九州沖縄地区産学官連携コーディネーター 瀬戸英昭

T E L ・ F A X 096-242-6194 e-mail seto @ kumamoto-nct.ac.jp

管理課 産学連携係

産学官連携コーディネーター 三島淳一郎

T E L 096-242-3821 F A X 096-242-5503 e-mail tizai @ kumamoto-nct.ac.jp