

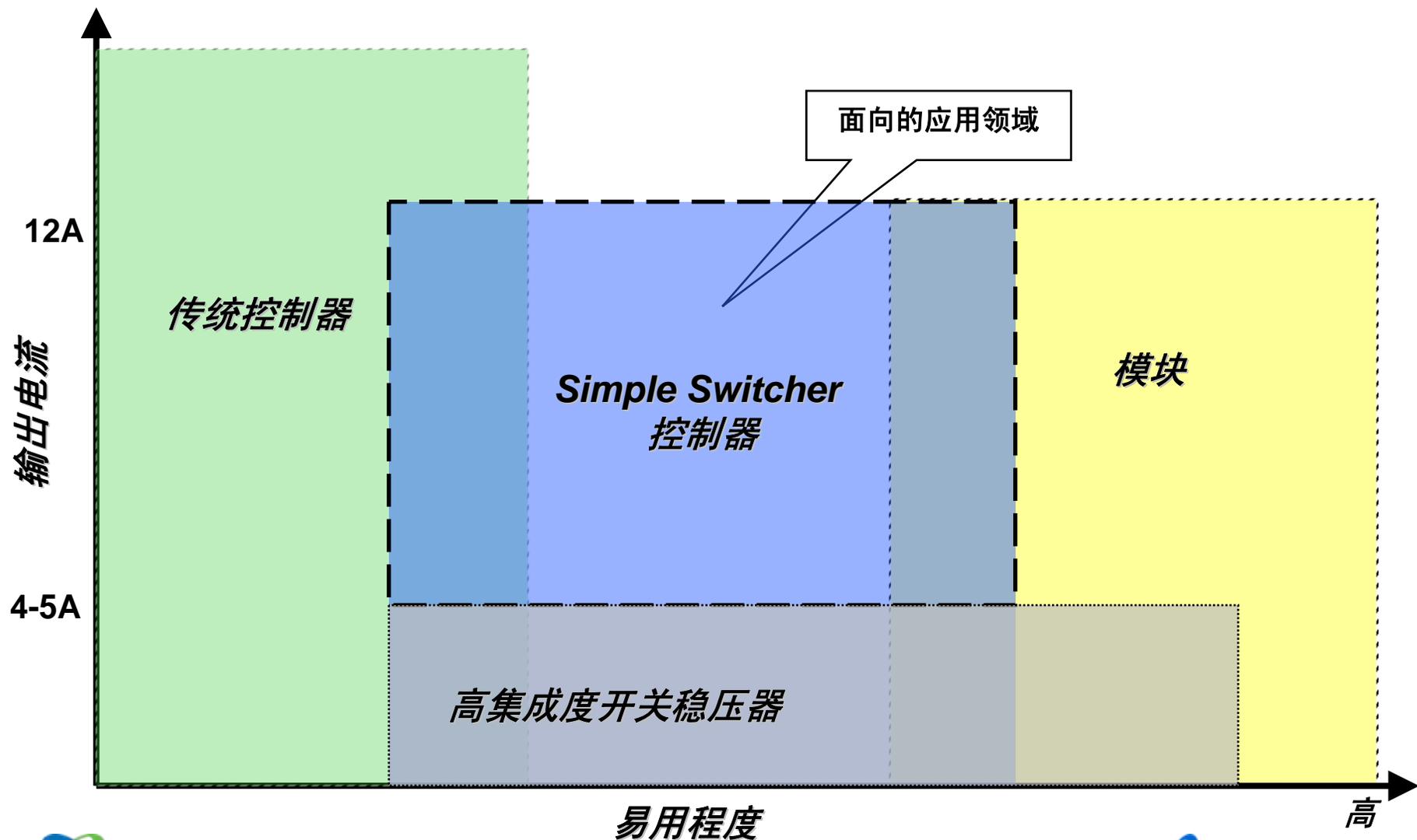
采用 PowerWise® Simple Switcher 控制器 简化负载点电源系统设计



概要

- 固定导通时间仿纹波模式(ERM)稳压技术
- **Simple Switcher Controller**的参数和特性
 - 软启动
 - 预偏置操作
- 设计工具

Simple Switcher 控制器



何谓 Simple Switcher 控制器？

- 广受欢迎的 **Simple Switcher** 开关电源系列的最新产品
 - 专为设计经验不多或设计时间紧迫的客户而提供，最适用于输出电流超过 4~5A 的系统设计
 - 输出电流高于传统的 **Simple Switcher** 稳压器
- 容易使用的同步控制器系列
 - 输出电流高达 12A
 - 6V 至 42V 的输入电压范围
 - 固定及可调整的开关频率
 - 固定及可调整的输出电压
- 由元件挑选、仿真、电路布局到电路评估的整个设计过程都可获不同设计工具支持
 - 全套 **WEBENCH®** 在线设计工具，提供多款 FET 供客户选择
 - 另有多种不同的离线设计工具
- **PowerWise***
 - 在输出 10A 电流时，效率可高达 93%

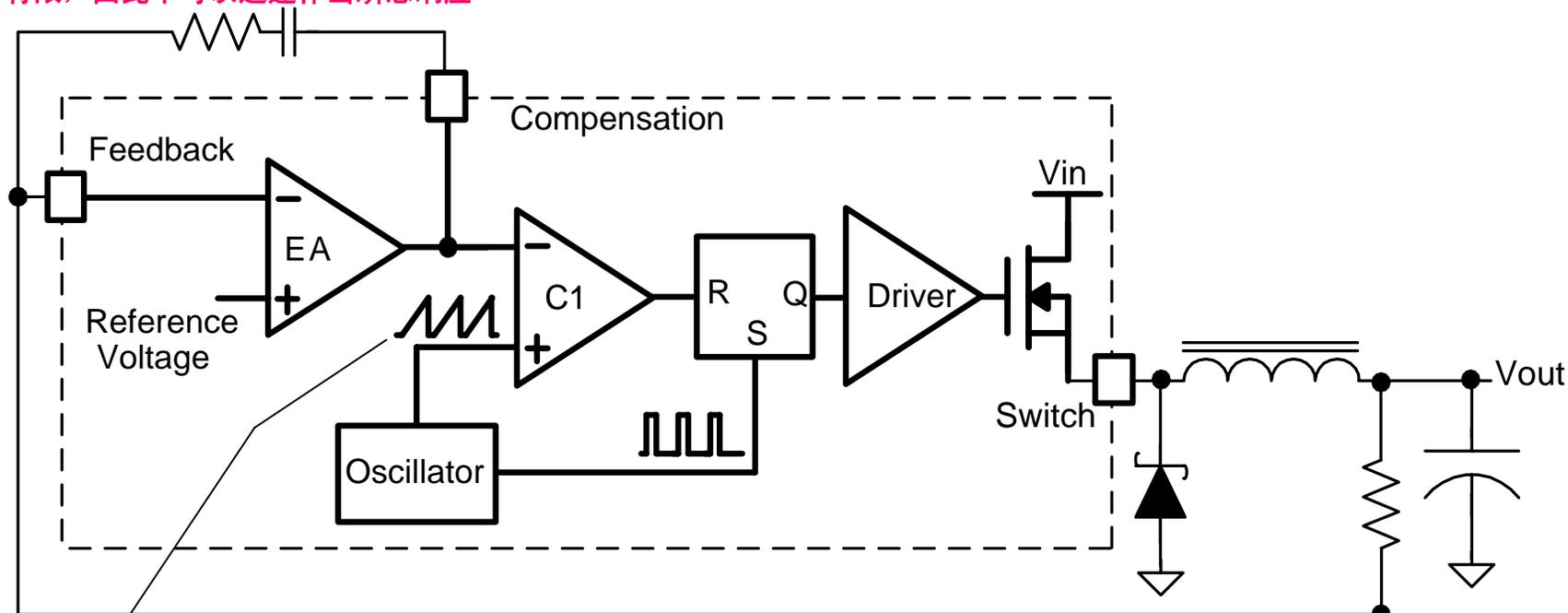
*PowerWise 标准 = 若转换比率为 7:1 或以上，效率最少可达 85%



固定导通时间及 仿纹波控制

基本的 PWM 直流/直流转换器

补偿电路及误差信号放大器 (EA) 带宽有限, 因此不可以迅速作出瞬态响应



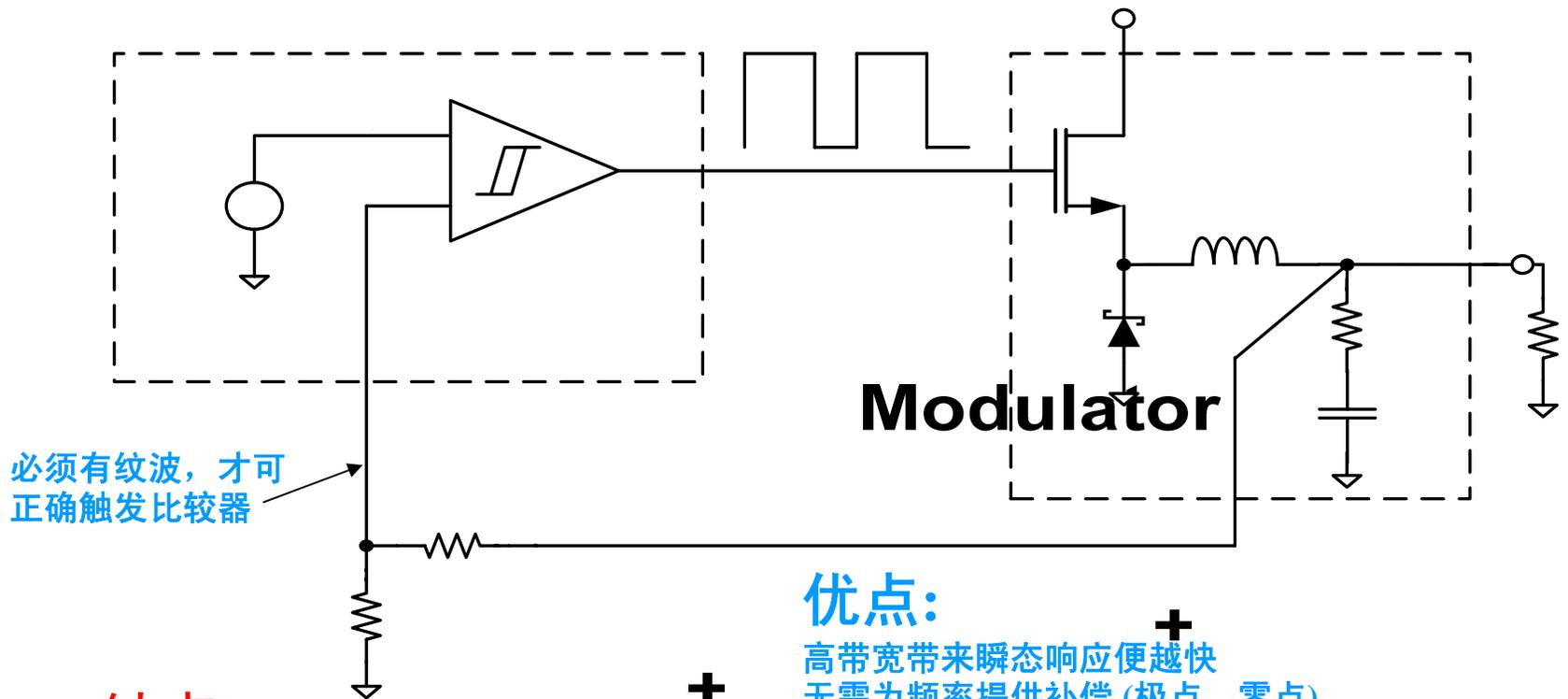
对开关比较器而言等效于的纹波

纹波必须很低才可有效控制反馈

优点:
频率固定
纹波较低 (必要的)

缺点:
环路设计复杂
带宽有限 (相对于迟滞转换器)

迟滞降压稳压器基本结构



缺点:

t_{ON} 和 t_{OFF} 以及频率都会随 V_{REF} 、 V_{IN} 、 V_{OUT} 、 L 、 ESR 、 ESL 、 $V_{HYS} \cdot (R_{F1} + R_{F2}) / R_{F2}$ 及 t_d 而变动

优点:

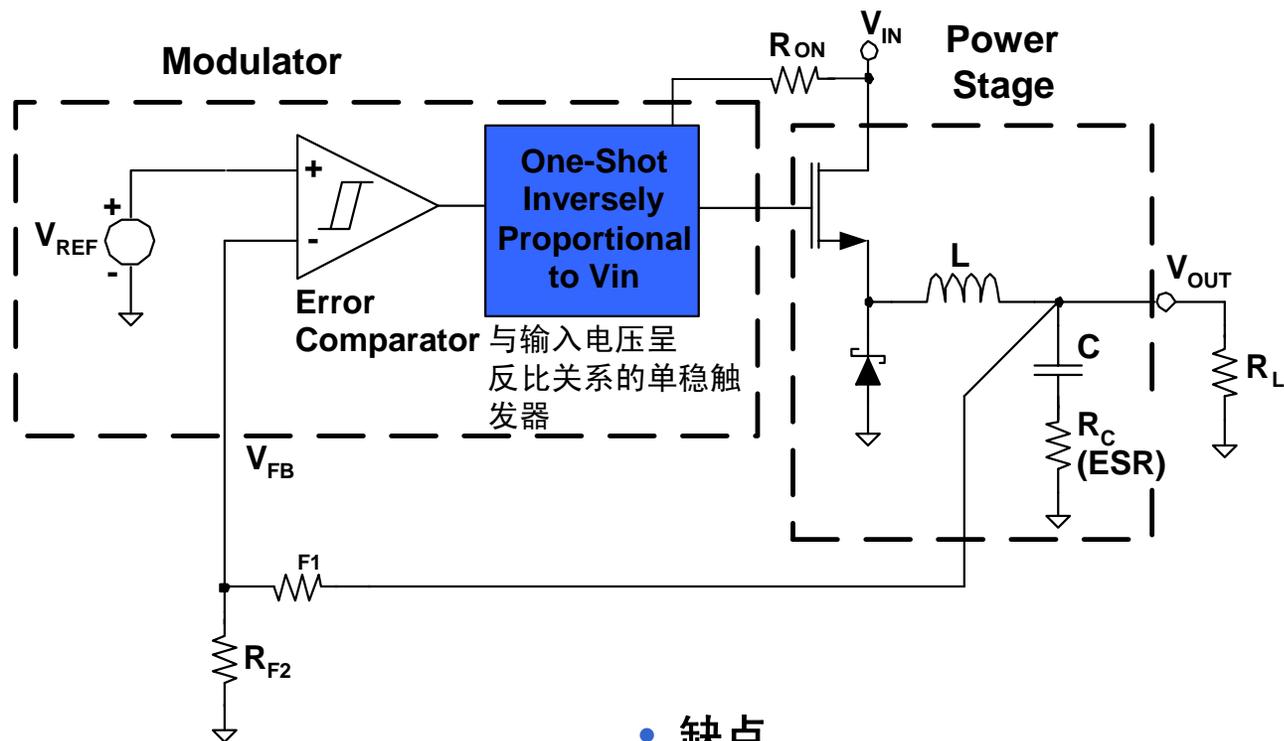
高带宽带来瞬态响应便越快
 无需为频率提供补偿 (极点, 零点)
 已有输入电压前馈功能

较难控制频率 !! Error

Comparator
 Semiconductor

固定导通时间 (COT) 迟滞稳压器

若输入电压不变，即使负载电流有变，导通时间也会保持恒定



• 优点

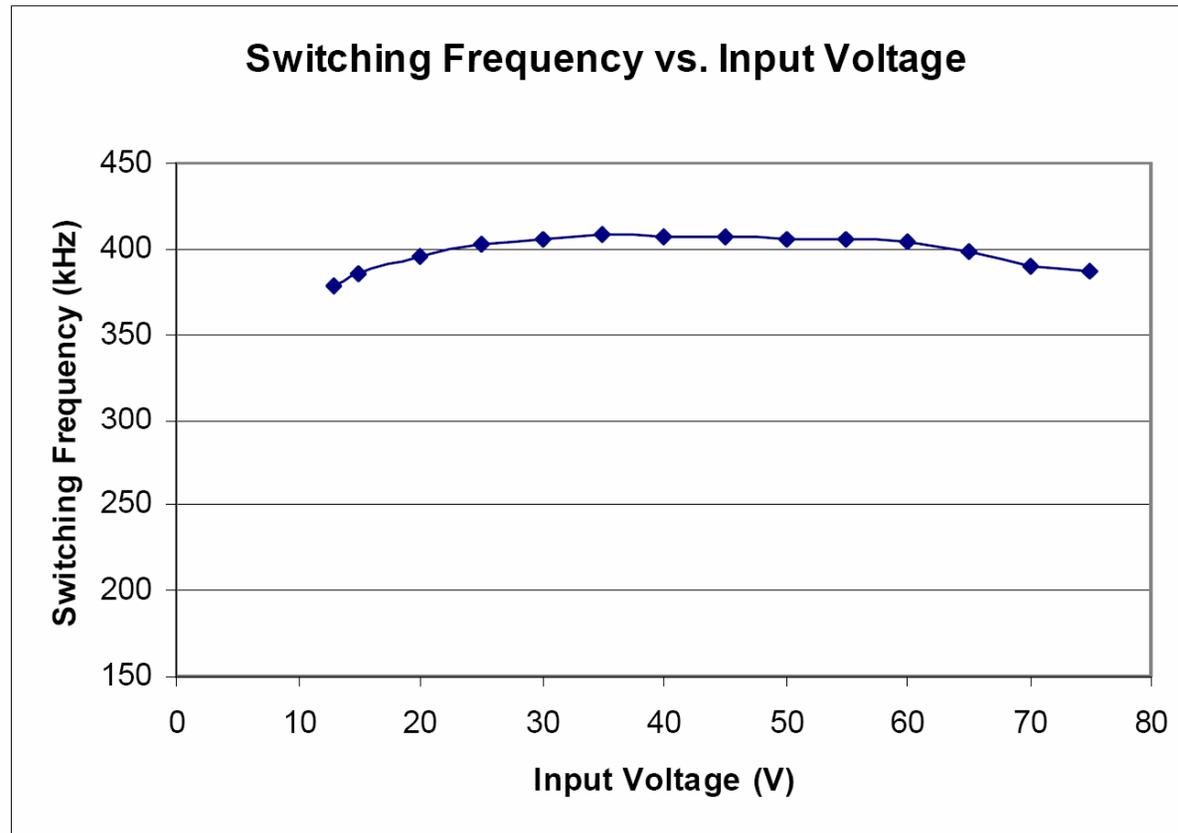
1. 恒定频率与输入电压的关系
2. 轻载时，也能发挥极高效率
3. 瞬态响应极快

• 缺点

1. 反馈比较器必须有纹波
2. 对输出噪声较为敏感，因为这些噪声会变为反馈纹波

工作频率与输入电压之间的关系 (连续导电模式)

(典型例子)



为何要为降压稳压器引进纹波抑制技术

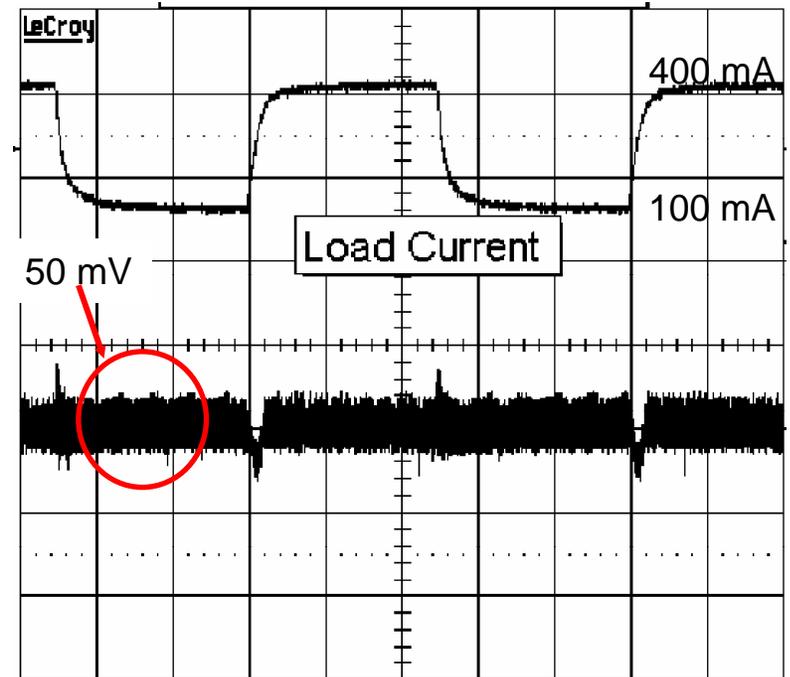
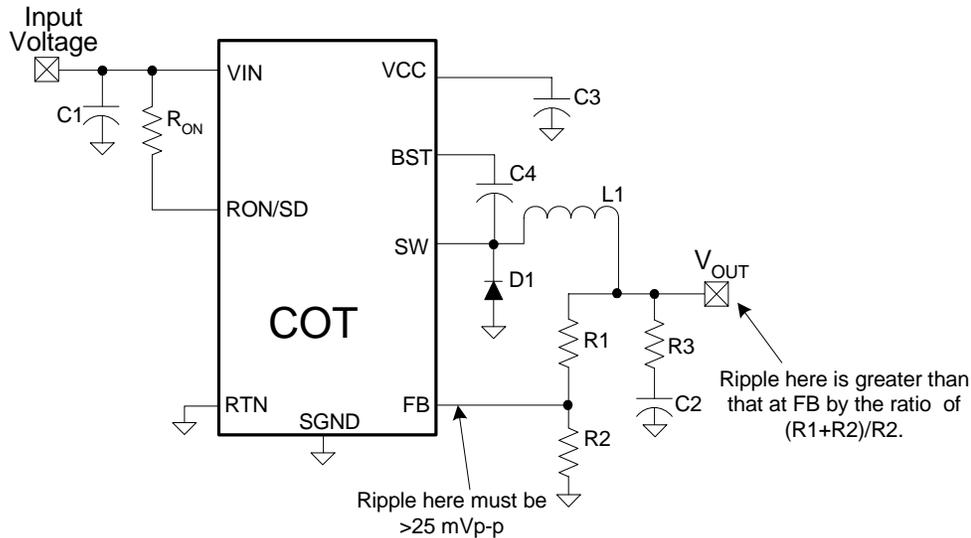
对许多应用来说，输出纹波不会对电路构成问题。换言之，纹波电压或频率不会影响负载。

但部分应用的输出电压纹波可能会产生负面的影响，因此纹波振幅必须尽量缩小。

对于 3.3V 的输出电压来说，200 mV 纹波的影响远比同一纹波对 15V 输出电压的影响为大。

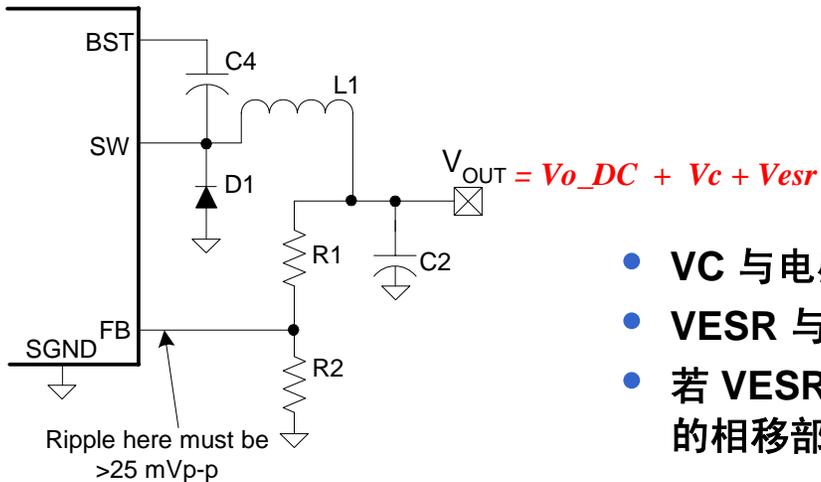
对于部分终端产品来说，频率才是干扰其他内置电路的噪声源。例如，开关频率可能处于 AM 收音机接收频带的范围内 (535 kHz 至 1605 kHz)，但只要改用另一开关频率，便可解决这个问题，这样做并不很难。

采用基本配置的电路



- 输出电压纹波 = 电感器纹波电流 x R3
- 若输入电压上升，电感器纹波电流也会随着上升，因此输出纹波电压也会随着上升。

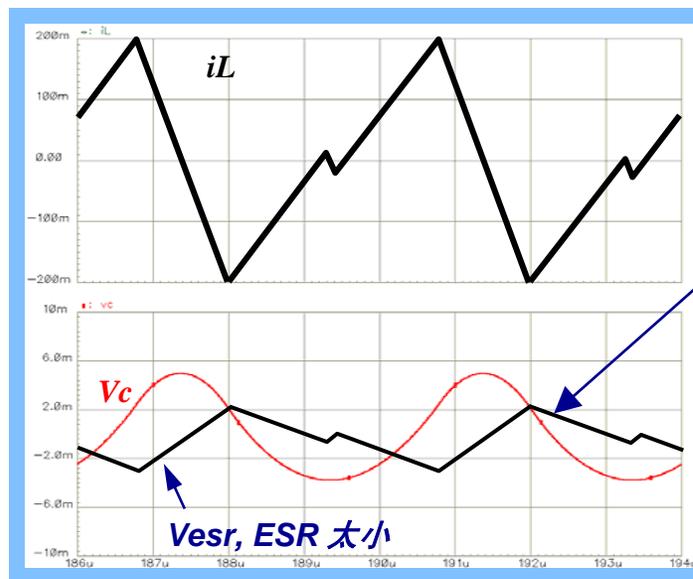
完全不用 R3 会有什么影响？



$$\Delta V_{OUT} = \Delta I_L \cdot ESR + \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_{SW} \cdot C_{OUT}} = V_{ESR} + V_C$$

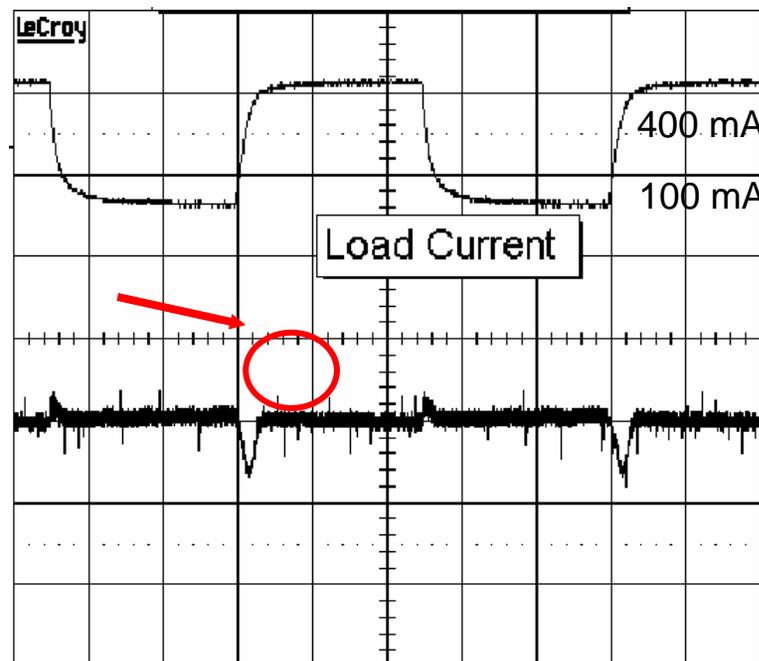
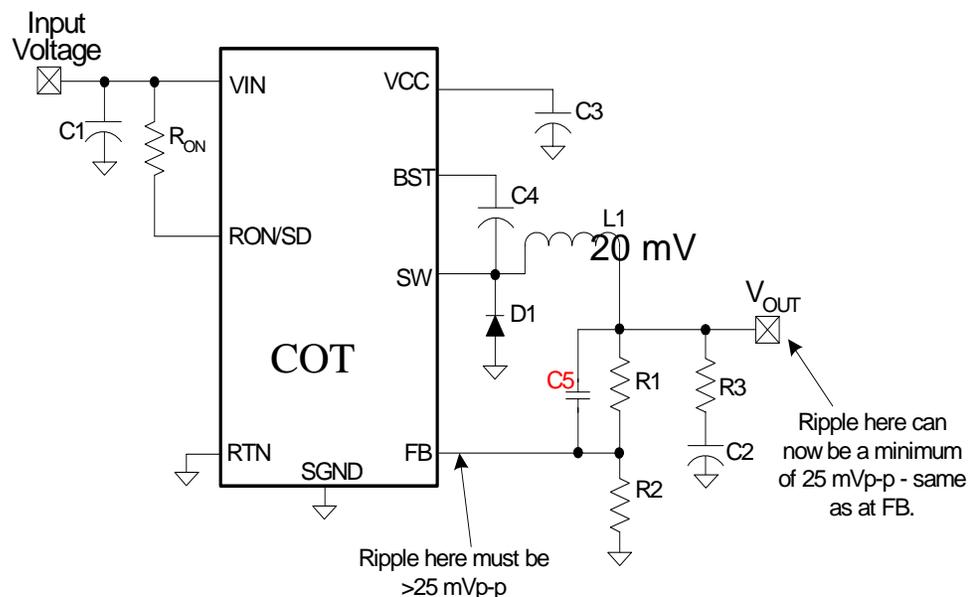
- VC 与电感器电流波形出现 90 度的相移
- VESR 与电感器电流波形保持同相
- 若 VESR 值太小，大部分反馈电压 (VFB) 纹波都来自 VC 的相移部分，这样不但会产生抖动，而且无法稳定电压

电路电压不稳定，会产生很多噪声及抖动 !!



反馈信号在此应该上升，但实际却在下跌 !!

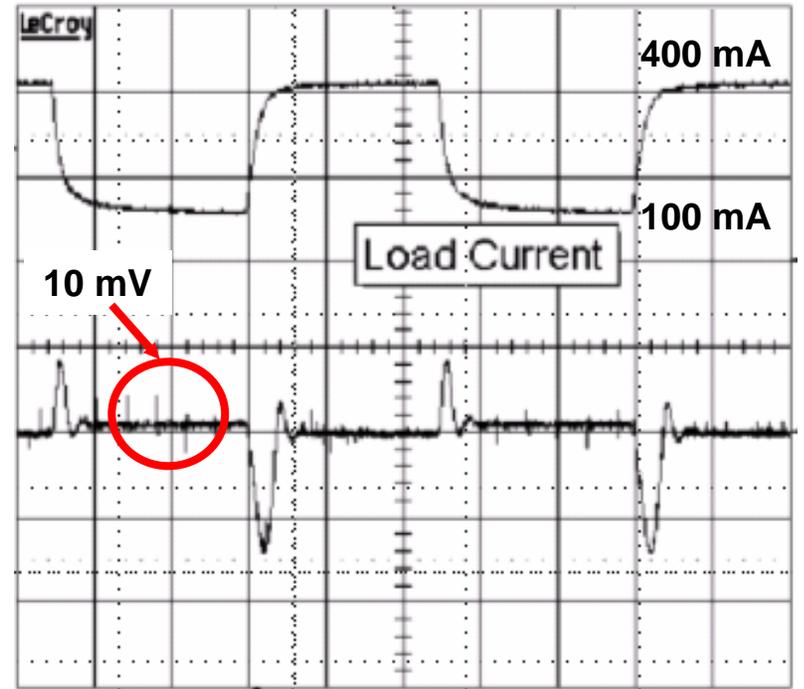
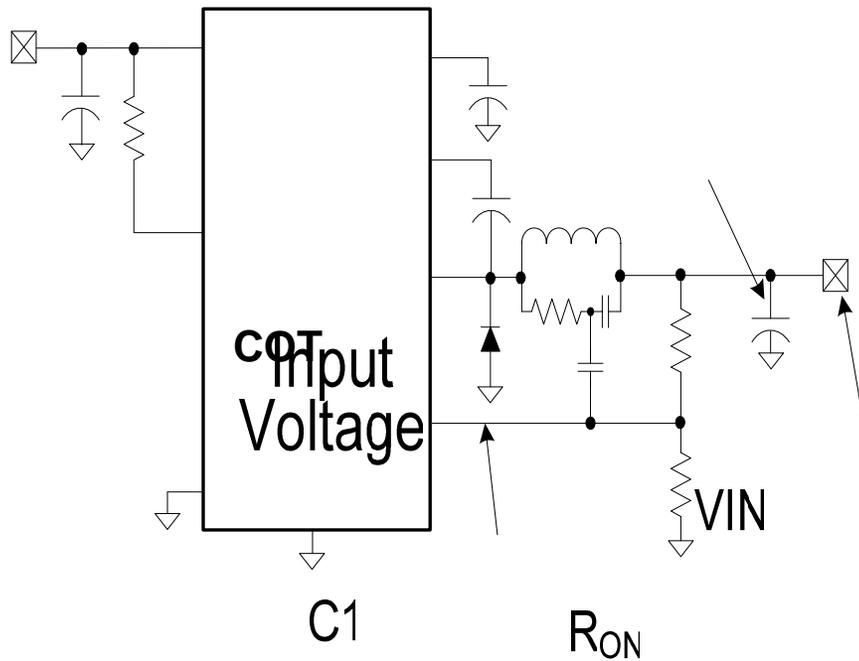
加前馈电容器 C5



加 C5 之后，反馈电压纹波便会等于输出电压纹波，而不会因 R1 及 R2 出现衰减。

这样虽不能彻底消除纹波，但可将其减少

利用 DCR 检测的结构



BST

C4

L1

$R_{ON/SD}$

SW

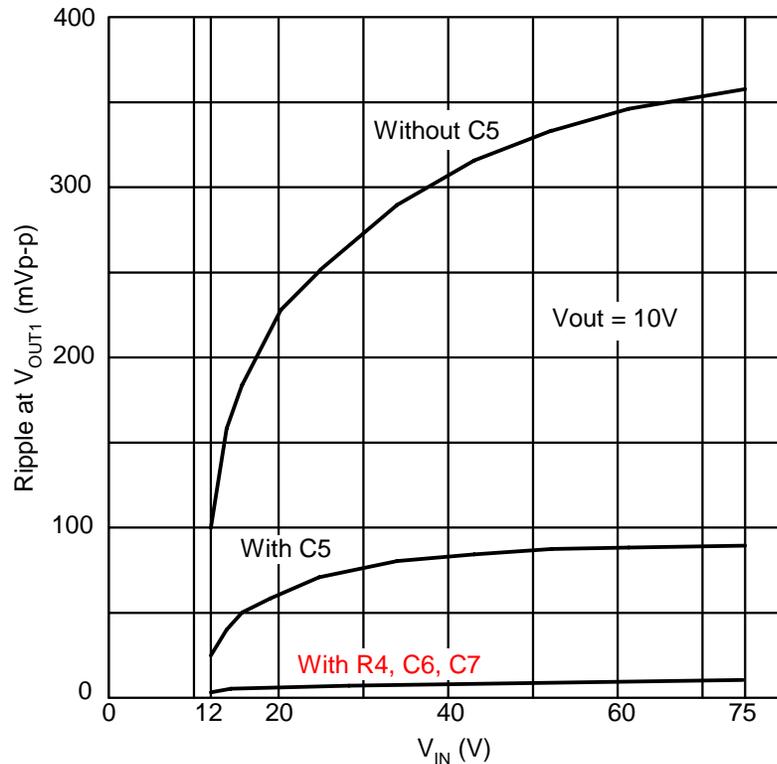
National Semiconductor

R4

C6

R1

实现纹波最小化的配置与前述示例之间的比较



若采用纹波最小化的配置，典型纹波振幅会介于
2 mVp-p 与 15 mVp-p 之间。

仿纹波模式 (ERM) 简介

固定导通时间 (COT) 的优缺点:

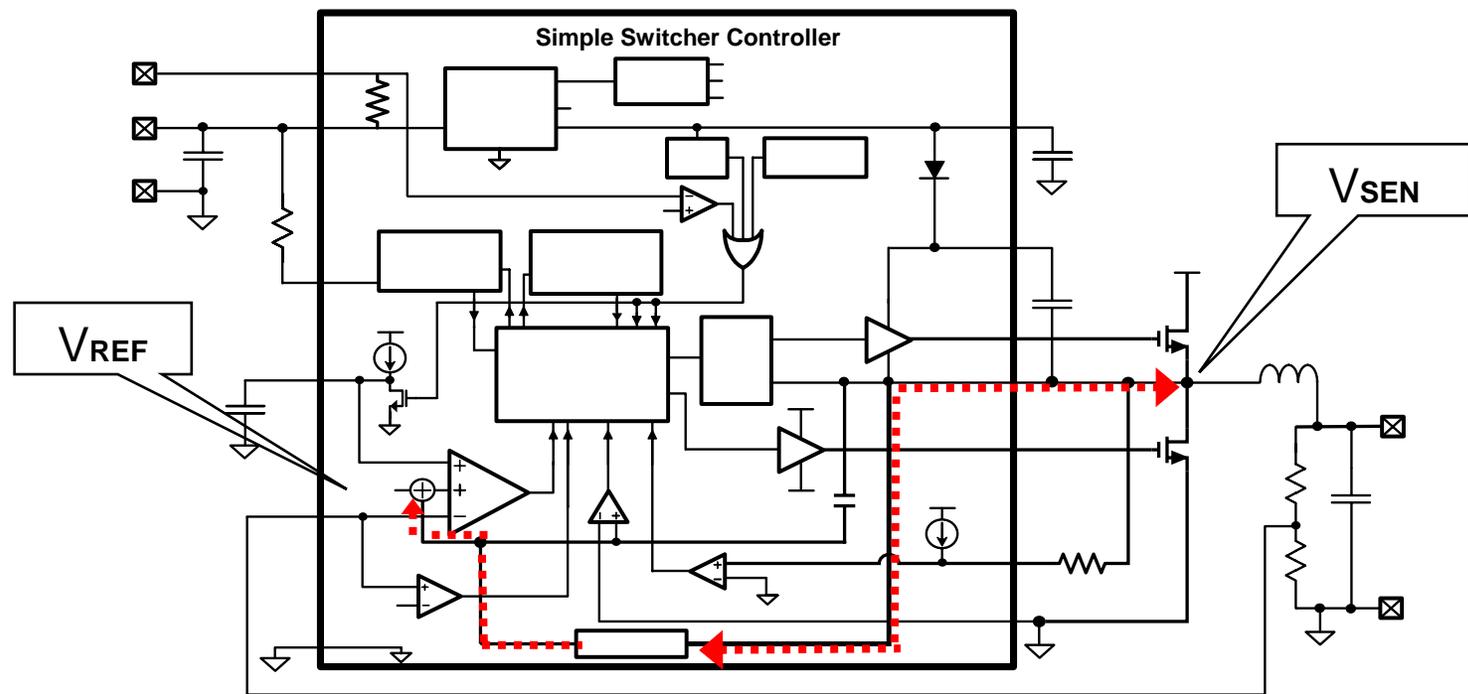
- 固定导通时间控制的稳定性对噪声干扰较为敏感，因此必须印制电路板布局要求很高
- 输出电容器的等效串联电阻要求很大，才可确保导通时间固定
 - 反馈引脚必须有少量纹波，才可支持稳定的开关功能，以及确保负载调整率
- 不适用于高电流的系统

仿纹波模式 (ERM) 解决方案 -- 可将输出电压纹波减至最少，同时可执行稳定的的开关功能:

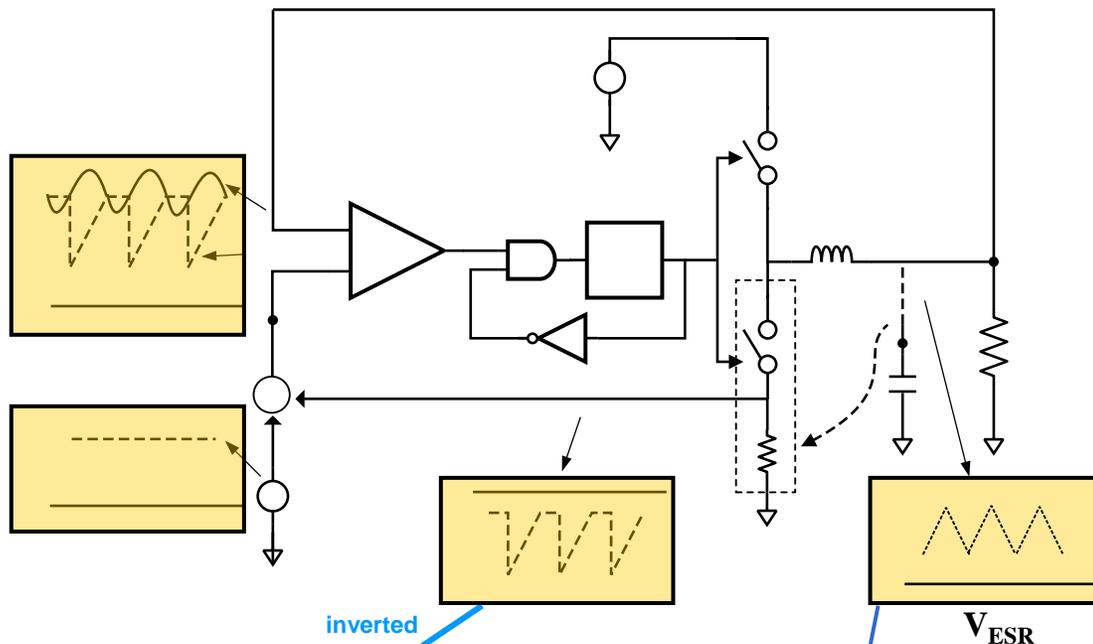
- 正申请专利的仿纹波模式控制电路
 - 系统可以采用等效串联电阻很低的输出电容器，但又可执行稳定的开关稳压功能
 - 输出电压纹波极低，峰峰值与电压模式及电流模式的控制电路无异
- 可以简化反馈电路的设计，同时确保有快速的瞬态响应，这两方面可媲美固定导通时间解决方案，但仿纹波模式解决方案还有另一优点：可以降低高电流系统对印制电路板设计的要求。

仿纹波模式 (ERM) 背后的运作原理?

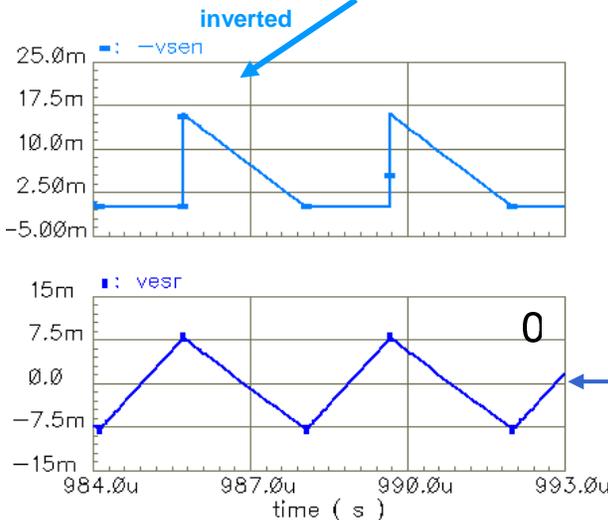
1. 仿纹波模式电路可以在关断周期内感测低端 FET 的电压 (V_{SEN})
2. 将 V_{SEN} 与 V_{REF} 叠加加在一起, 模拟输出端的“纹波”
3. 低端 FET 的导通状态电阻替代了输出电容器的等效串联电阻
 - 输出端无需采用较大等效串联电阻的电容器
 - 若要完全消除对输出电容等效串联电阻的要求, 只需: $R_{dson} \geq ESR_c$



仿纹波模式工作原理图



反相 V_{SEN} 只是关断期间的 V_{ESR} 的复制波形。

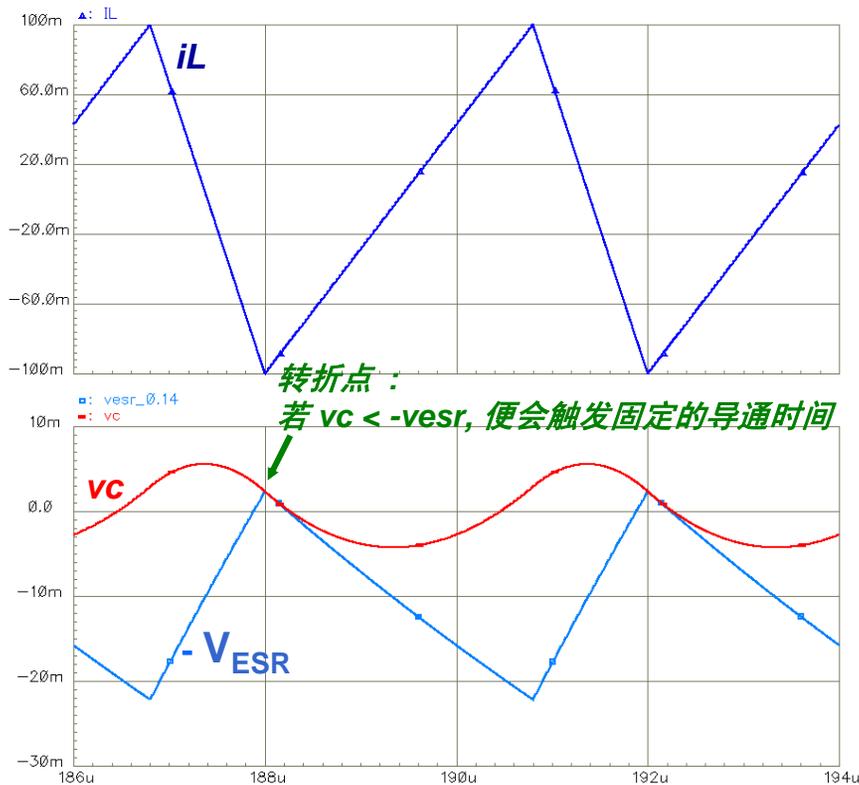


若要消除对 $V_{REF} + V_{SEN}$ 的要求, ESR_c

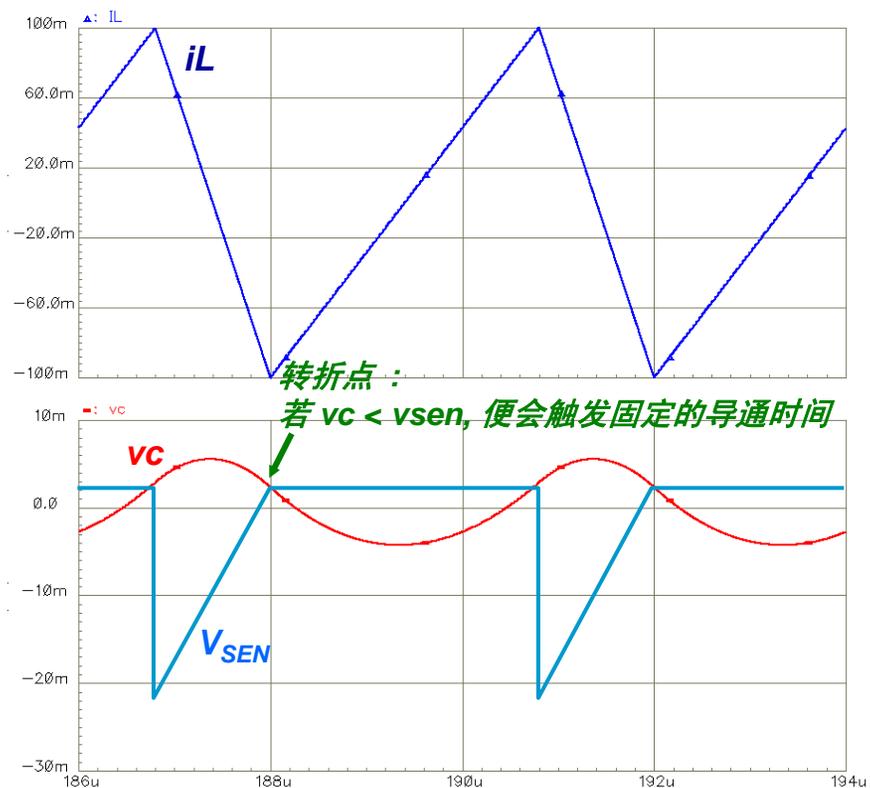
$$R_J^* \geq ESR_c = D / (2C_o f_s)$$

* R_J = 低端 FET 的导通状态电阻

仿纹波模式控制方式的不同波形比较



采用 ESR_C

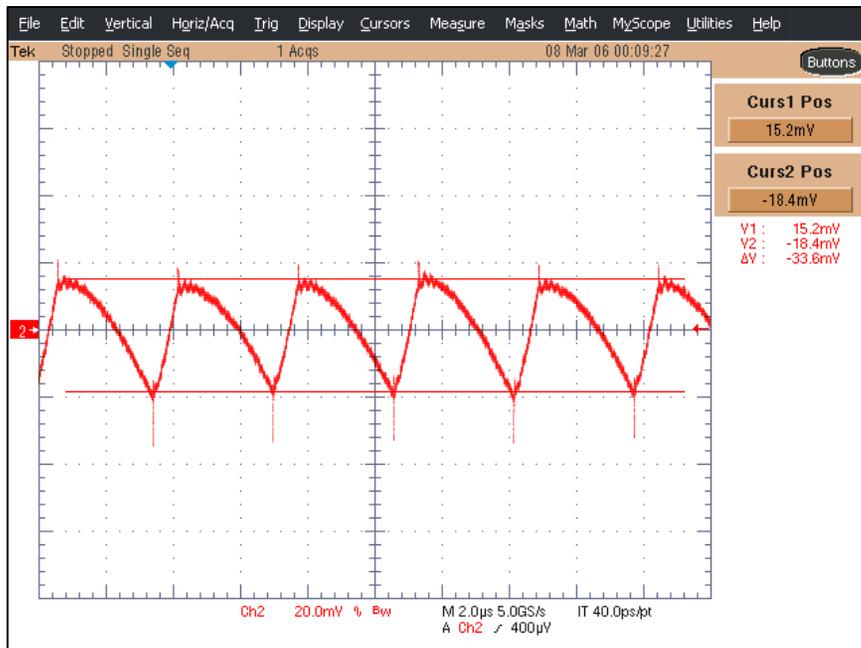


采用 ERM ,
 $R_J = ESR_C$

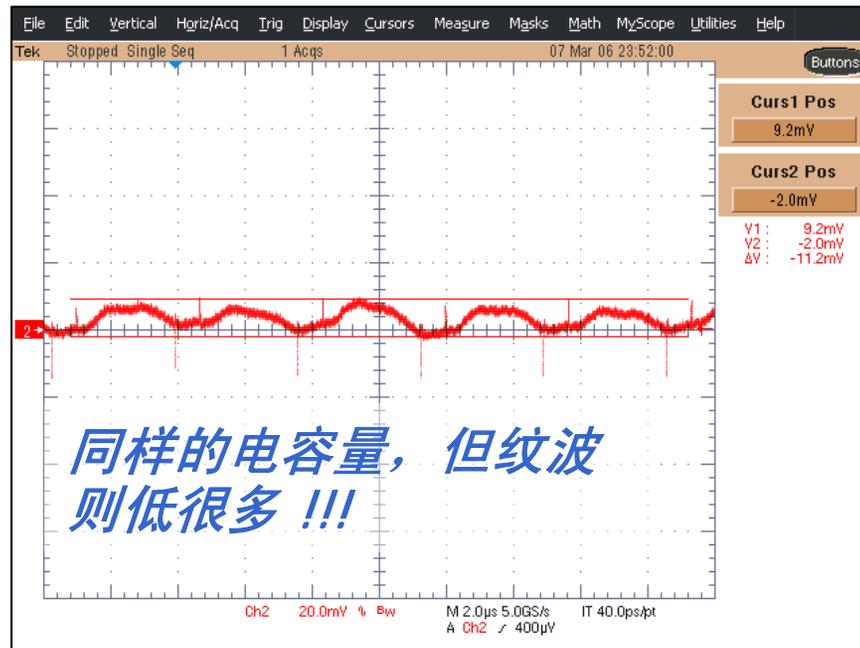
输出电压纹波比较

仿纹波模式 (ERM) 控制方法的优点是可以采用等效串联电阻较低的电容器及保持稳定的开关稳压功能

钽质输出电容器 (等效串联电阻较高)



陶瓷输出电容器 (等效串联电阻较低)



仿纹波模式 (ERM) 固定导通时间技术具有多项优点

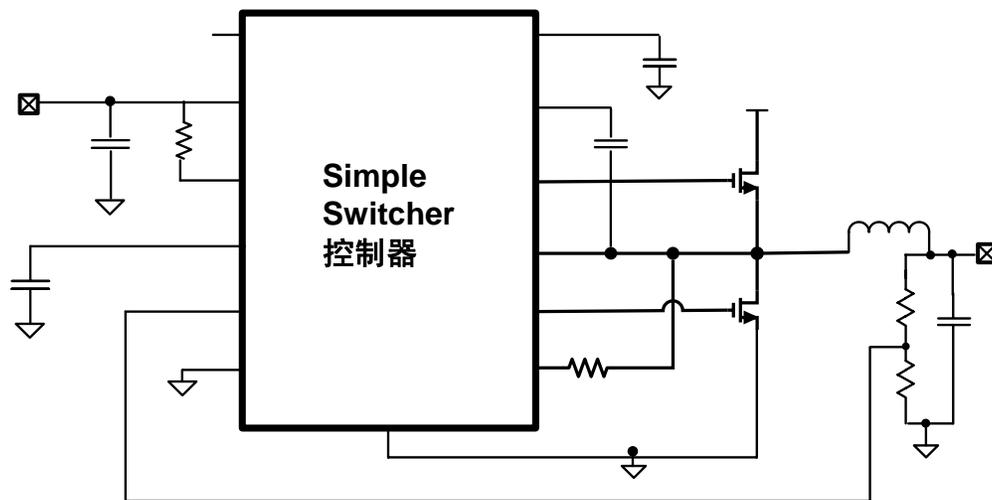
- 无需环路补偿
 - 只需极少外置元件
 - 瞬态响应极快
 - 成本较低
 - 容易使用
 - 稳定可靠
- 接近固定的工作频率
 - 外置分立元件的数值不会影响频率
 - 稳定可靠、性能卓越
 - 简化设计
- 仿纹波模式 (ERM) 电路
 - 输出电压纹波极低，稳定的开关稳压功能
 - 无需为低的等效串联电阻提供额外补偿
 - 等效串联电阻更低的电容器
→ 体积更小
 - 工作稳定
 - 设计更灵活

产品规格与特点

Simple Switcher 控制器简介

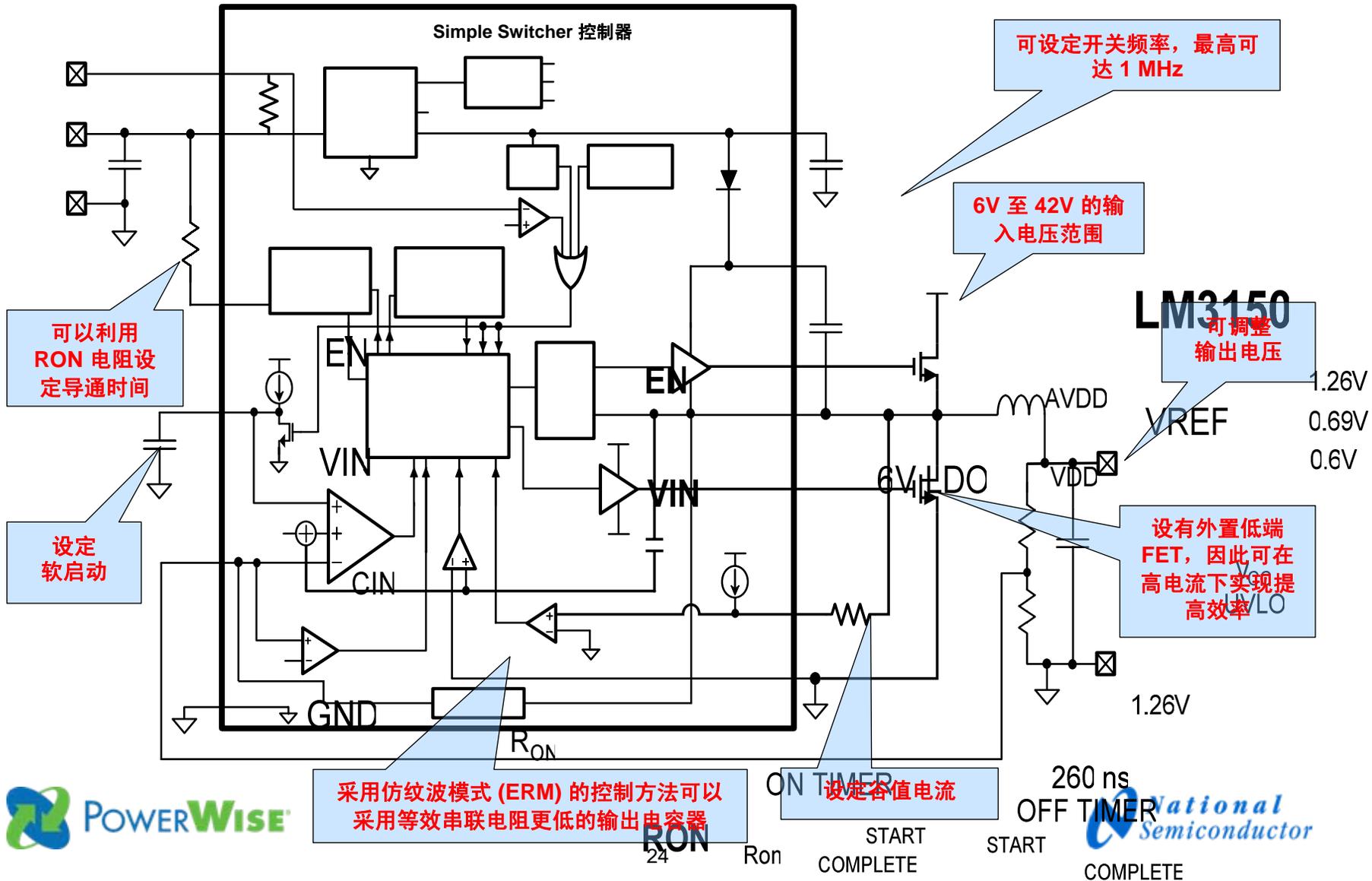
主要特点:

- 输入电压: 6V 至 42V
- 可调整输出电压, 可调低至 0.6V
- 可设定开关频率, 最高可达 1 MHz
- 可输出高达 12A 的驱动电流
- $0.6V \pm 1.5\%$ 的参考电压
- 固定导通时间控制
 - 正在申请专利的仿纹波模式 (ERM) 控制技术
 - 快速的瞬态响应时间
 - 可以利用 R_{ON} 电阻设定导通时间



- 容易使用
 - 无需环路补偿
 - 可获全套 WEBENCH 设计工具支持
 - 只需极少外置元件
- 可设定限流值 (谷值电流)
- 可设定软启动
- 过热停机、过压保护、欠压锁定

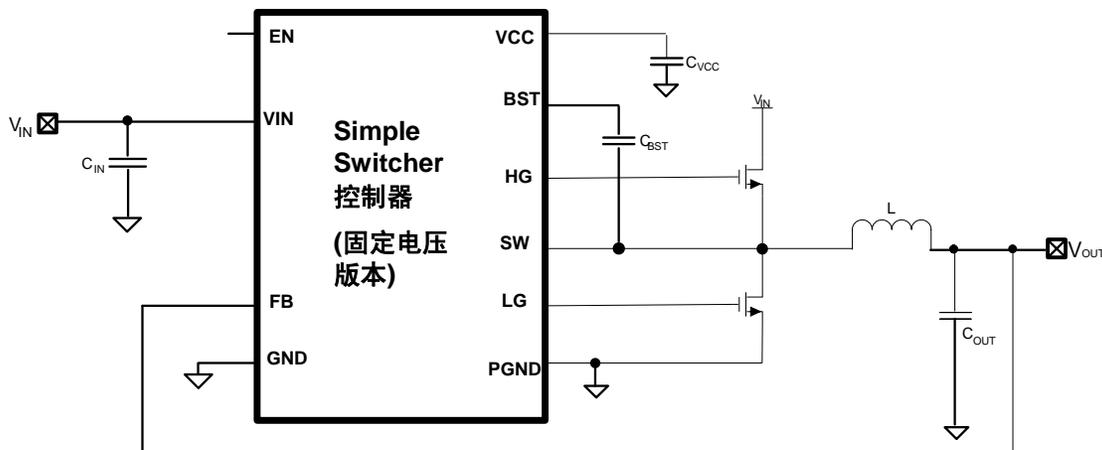
Simple Switcher 控制器的结构框图



固定输出电压 Simple Switcher 控制器简介

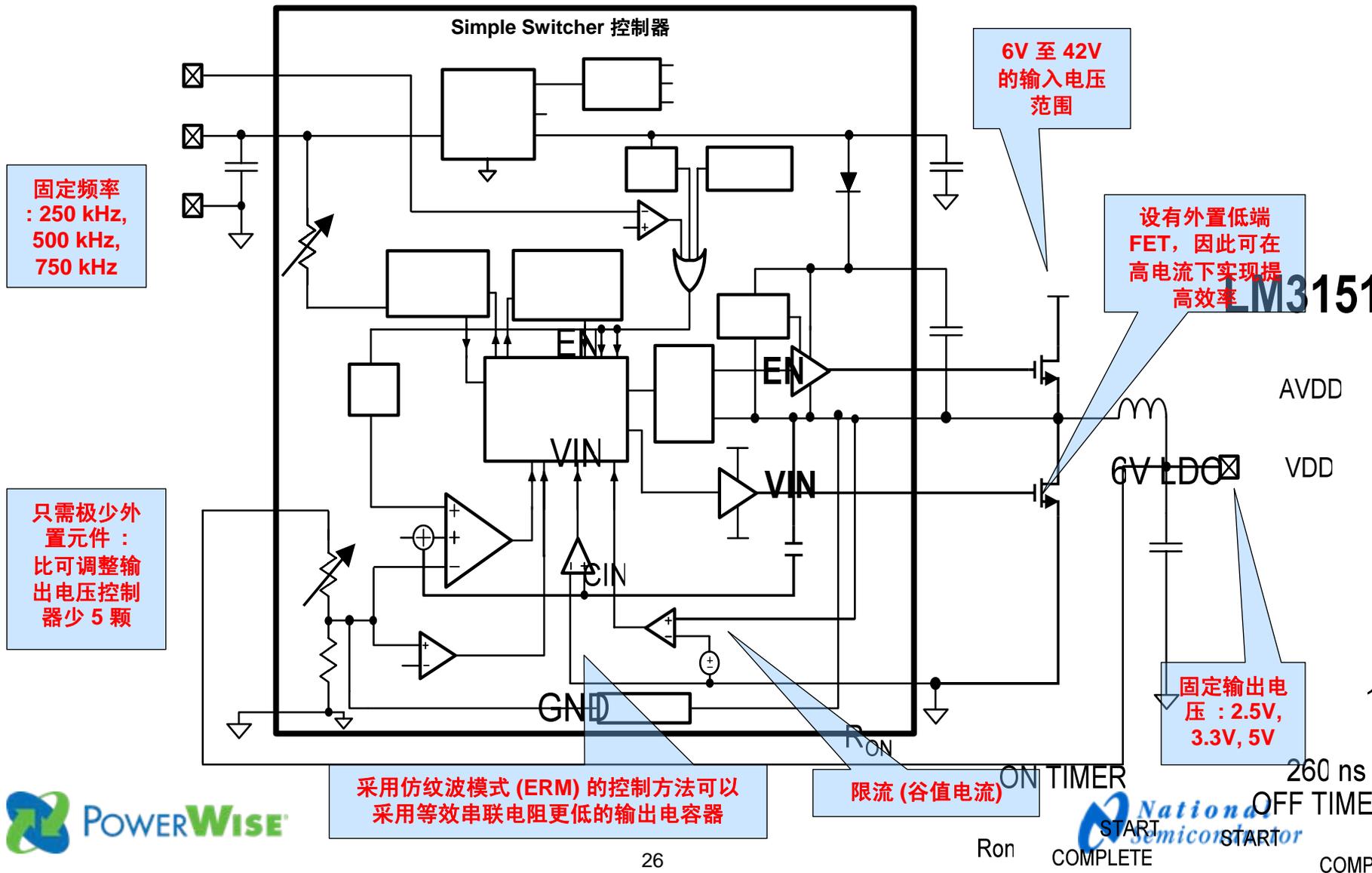
主要特点:

- 所需元件比可调整输出电压控制器少 5 颗
- 输入电压: 6V 至 42V
- 固定输出电压
 - 2.5V、3.3V、5V
- 固定开关频率
 - 250 kHz、500 kHz 及 750 kHz
- 可输出高达 12A 的驱动电流
- 固定导通时间控制
 - 正在申请专利的仿纹波模式 (ERM) 控制技术
 - 快速的瞬态响应时间

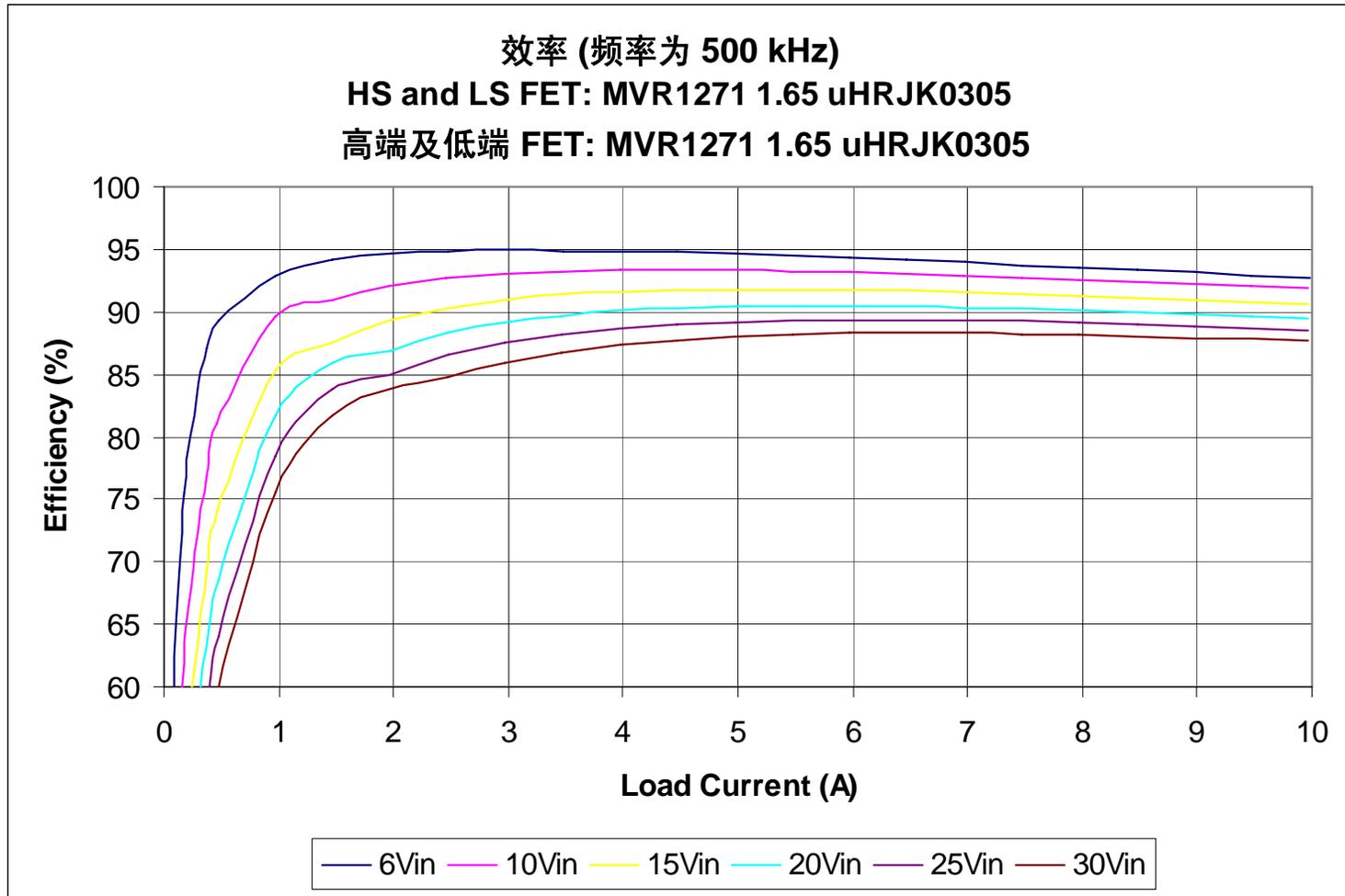


- 容易使用
 - 无需环路补偿
 - 可获全套 WEBENCH 设计工具支持
 - 只需极少外置元件
 - 所需元件少于 LM3150
- 限流 (谷值电流)
- 过热停机、过压保护、欠压锁定

产品的结构框图



效率曲线图



SIMPLE SWITCHER® 控制器

特色/优点

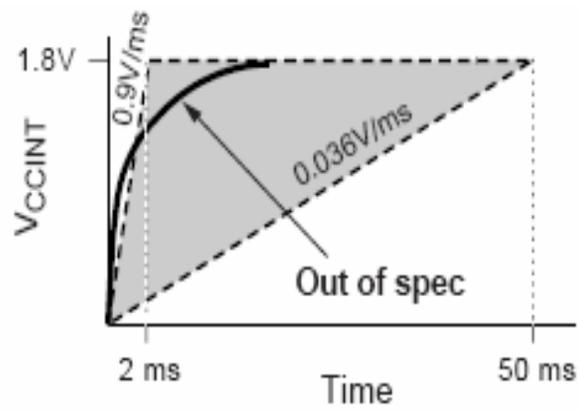
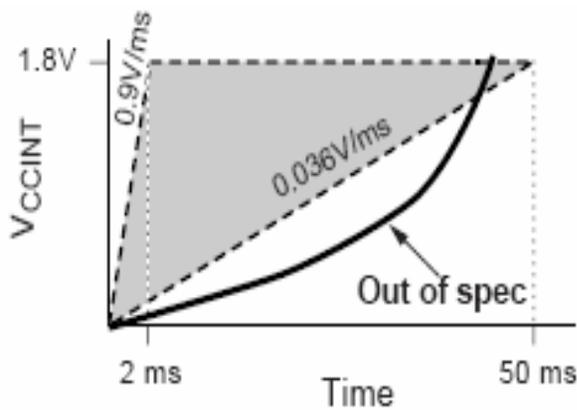
特色	优点	对客户的好处
利用仿纹波模式 (ERM) 的控制技术执行固定导通时间稳压功能	<ul style="list-style-type: none"> • 无需环路补偿 <ul style="list-style-type: none"> – 可以减少元件数目 • 快速的瞬态响应 • 频率较为恒定 <ul style="list-style-type: none"> – 不受分立元件影响 • 采用仿纹波模式 (ERM) 的控制方法，因此可以采用等效串联电阻更低的输出电容器，优点是可以降低输出纹波 	<ul style="list-style-type: none"> • 设计更易 / 更快 • 性能卓越 / 稳定可靠 • 成本更低
PowerWise	<ul style="list-style-type: none"> • 驱动负载时，效率也高达 93% • 同步结构 	<ul style="list-style-type: none"> • 功耗较少
广阔的输入电压范围：6V 至 42V	<ul style="list-style-type: none"> • 适用于多种不同的应用 	<ul style="list-style-type: none"> • 提高设计的灵活性
可设定开关频率 (可调整输出电压的型号)	<ul style="list-style-type: none"> • 可以根据客户要求设定有关参数 <ul style="list-style-type: none"> – 方案体积符合特定要求 	<ul style="list-style-type: none"> • 提高设计的灵活性
固定电压版本控制器的特点是频率及输出电压都固定	<ul style="list-style-type: none"> • 可以缩小方案体积 <ul style="list-style-type: none"> – 只需极少元件 	<ul style="list-style-type: none"> • 容易使用 • 更快完成设计

对客户整体好处：容易使用及融入系统设计，发挥卓越的性能或效率

*PowerWise 指标：效率 85% 以上 (转换率不少于 7:1)



软启动



采用固定导通时间技术执行软启动功能

- 软启动 (SS) 的好处

- 采用软启动方式启动电源供应可防止磁元件出现饱和，而且避免出现较高的浪涌电流及输出电压过冲。

- 软启动

- 传统的软启动

- 传统的软启动采用 PWM 控制模式，其特点是由 $T_{on} = 0$ 起，占空比及输出电压会在随后的几个周期内平稳上升

- Simple Switcher 控制器的软启动

- Simple Switcher 控制器采用固定导通时间 (COT) 技术，因此执行软启动功能时，导通时间固定不变，关断时间则可由大变小，用这种方式缓慢增加占空比。

有与没有软启动功能的固定导通时间控制器

- 没有软启动

- 采用固定导通时间 (COT) 技术执行启动功能，通电过程可分为 3 个阶段

- 1 - 开环区

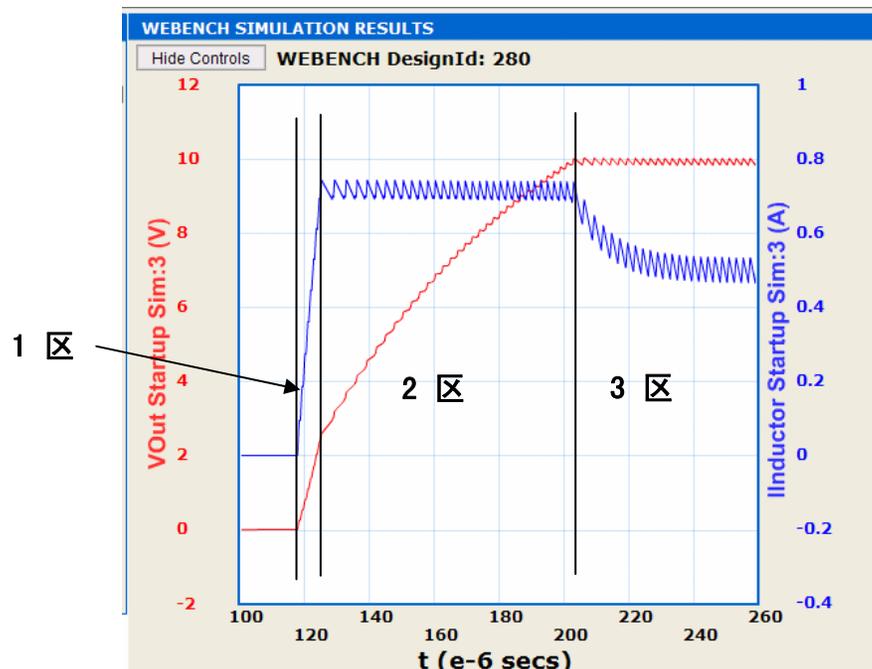
- 没有信号触发反馈及限流功能
- T_{on} = 一如所示; T_{off} = 最低断电时间

- 2 - 限流区

- 已触发限流功能

- 3 - 稳压区

- 已触发反馈输入
- T_{on} = 一如所示;
- $T_{off} = 1 - ((V_{in}/V_{out}) * T_{on})$



有与没有软启动功能的固定导通时间控制器 (续)

• 有软启动

— 采用固定导通时间 (COT) 技术执行软启动功能，通电过程可分为 3 个阶段

• 1 - 开环区

- 没有信号触发反馈及限流功能
- T_{on} = 一如所示; T_{off} = 最低断电时间

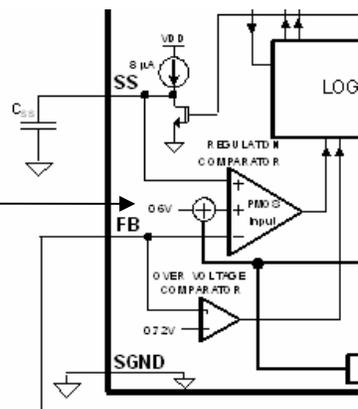
• 2 - 软启动区

- T_{on} = 一如所示; $T_{off} = 1 - ((V_{in}/V_{ref}) * T_{on})$

• 3 - 稳压区

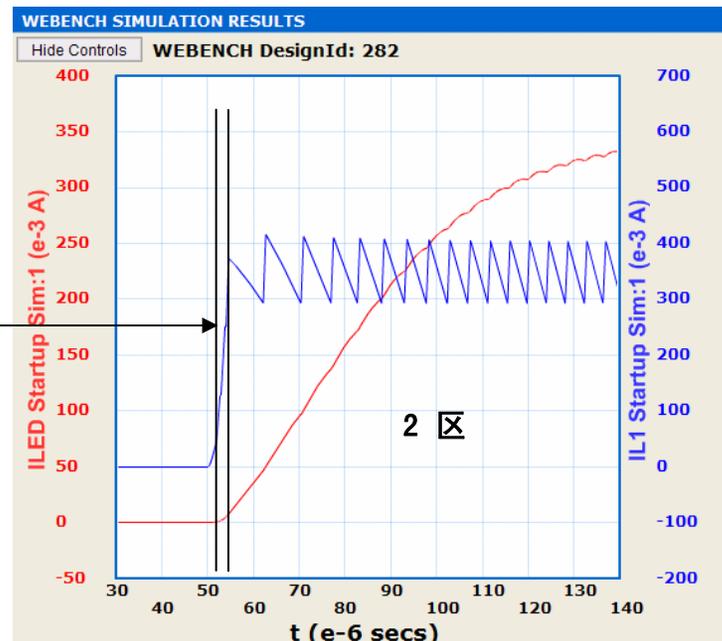
- 已触发反馈输入
- T_{on} = 一如所示; $T_{off} = 1 - ((V_{in}/V_{out}) * T_{on})$

由软启动电容
器负责提升
 V_{ref}

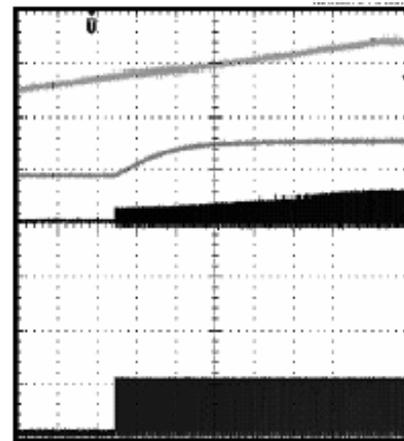
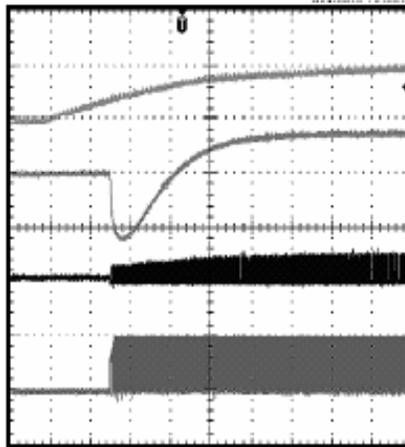


1 区

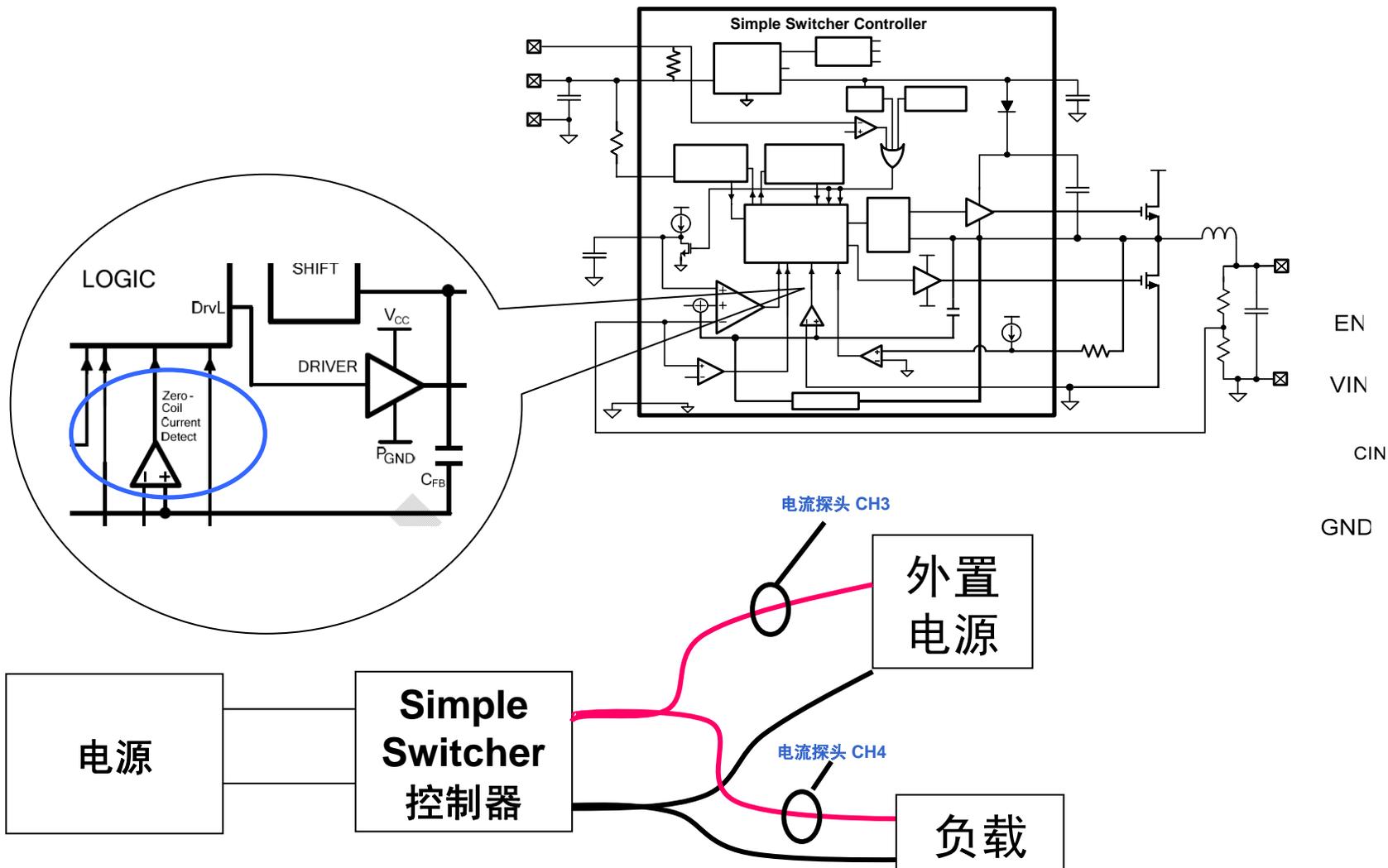
2 区



预偏置操作

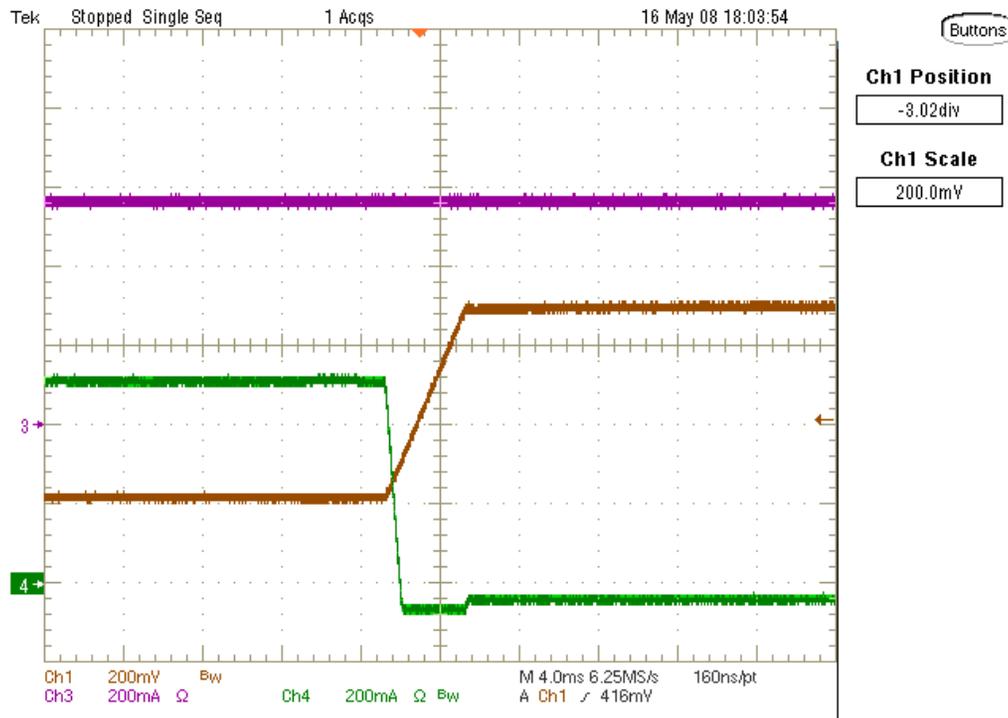


测试方法



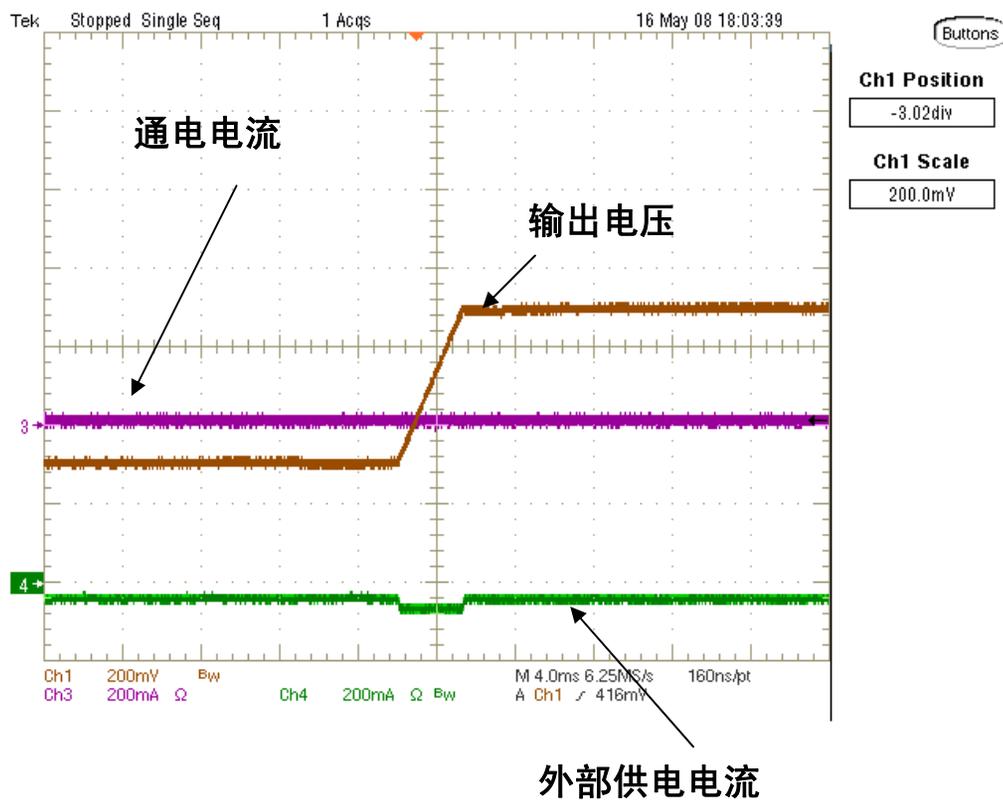
波形 - 1

- 输出电压 = 0.7V
- 通电电流 = 0.55A
- 供电电压 = 12V
- 外部供电电压 = 0.3V



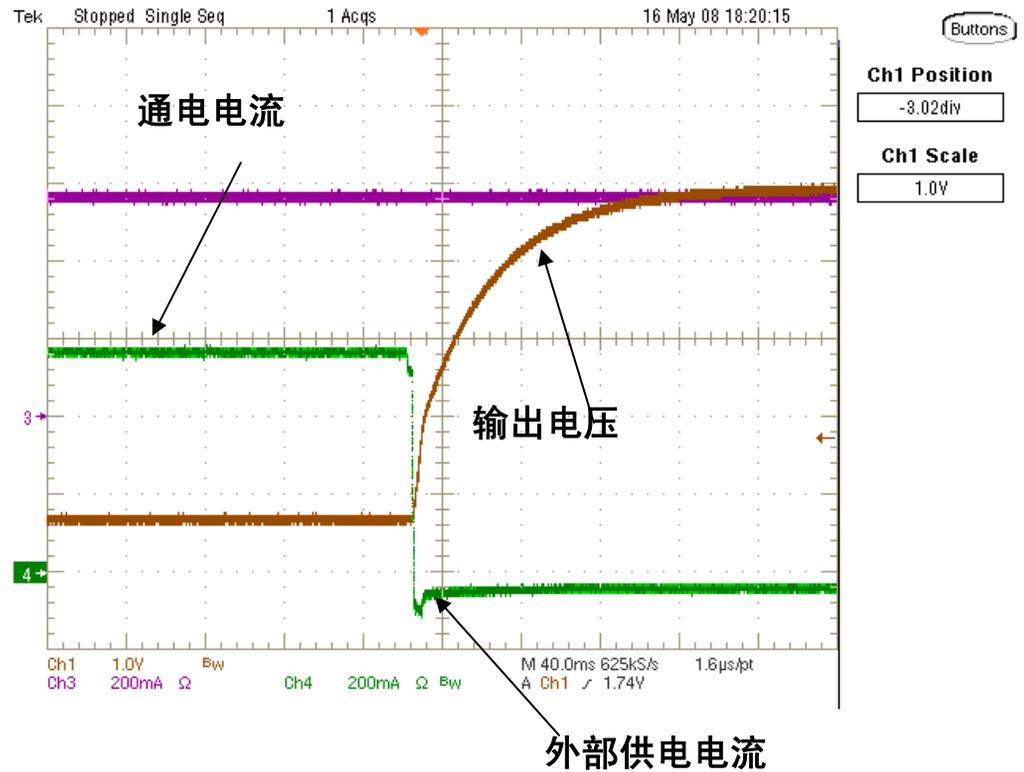
波形 - 2

- 输出电压 = 0.7V
- 通电电流 = 开放负载
- 供电电压 = 12V
- 外部供电电压 = 0.3V



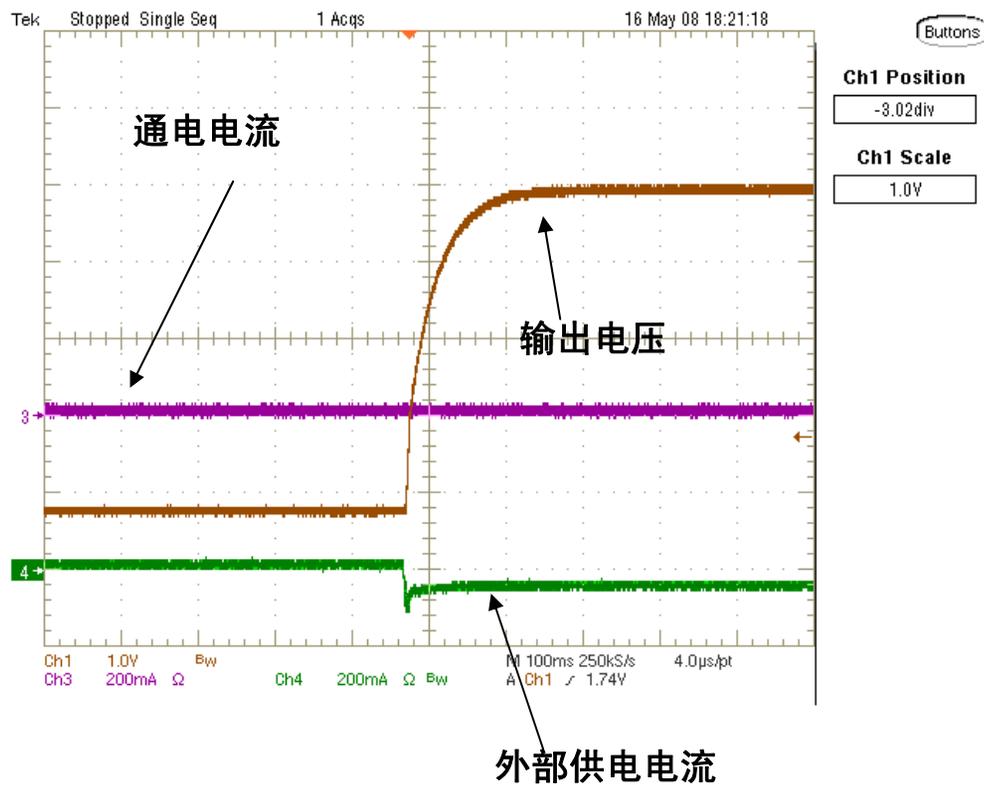
波形 - 3

- 输出电压 = 5V
- 通电电流 = 0.55A
- 供电电压 = 12V
- 外部供电电压 = 0.6V



波形 - 4

- 输出电压 = 5V
- 通电电流 = 开放负载
- 供电电压 = 12V
- 外部供电电压 = 0.6V



设计工具

WEBENCH 在线设计工具

- **WEBENCH® 元件计算器 (Component Calculator) 及 WebTHERM® 仿真程序：简单易用、确保可迅速完成设计**
 - 可为电路选定不同参数 (例如体积、效率、整体表现)，以便优化设计
 - 指出需要采用的外置元件
 - 建议采用某几款外置元件 (并提供相关链路以便工程师采购)
 - 进行电子及热能模拟测试
 - 可以选用 **BuildIt!™** 的套件订购服务，订购度身订造的建模套件 (套件会尽快送到客户手中)

其他设计工具

- Excel 计算器工具

- 快速启动指南 - 外置元件计算器
- MOSFET 选择器 - FET 计算器
- 可以优化设计，提高设计的灵活性

- 评估电路板

- 有 3 个版本可供选择
 - 输出电压 (V_{out}) = 3.3V，开关频率 (f_{sw}) = 250 kHz、500 kHz、750 kHz

- 应用笔记

- 提供更多有关固定导通时间、仿纹波模式及设计方面的技术资料，让工程师可以提高系统性能

- 参考设计

- 含全方位的解决方案，其中包括外置元件计算数字，物料清单及线路设计
- 演示电路板 - 整个设计只需极少元件

- Gerber 及印制电路板电路布局文件

Excel 计算器工具： 提高设计的灵活性以及按照客户要求优化设计



Ver 1.0 May 07 2007

MOSFET Selection Quick Start Guide for LM3150

Assumption : Synchronous Buck, COM operation, Assume the type of MOSFET for high-side and low-side. Ignore boot diode loss except voltage drop.

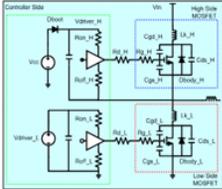


Fig 1. typical synchronous buck driver circuitry

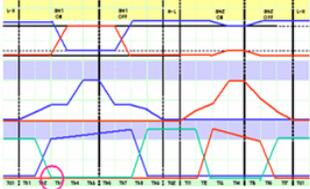


Fig 2. Switching wave form

Step 1 System Information

Input Voltage [V]	Vin	15	User Input
Output Voltage [V]	V _o	5	Output
Average Output Load Current [A]	I _{o_ave}	5	
Output Filter Inductor [uH]	L _{main}	2.7	
Switching Frequency [Hz]	F _{sw}	8.00E+05	
Damping Resistor for High Side [Ohm]	R _{damp_H}	0	
Damping Resistor for Low Side [Ohm]	R _{damp_L}	0	
Cross Conduction Factor (Qrr)	coef_Qrr	0.5	Default : 0.5

K70

Simple Switcher 控制器的快速启动指南

Revision date: 26 Sep 07 Version 1.2

Note: The components calculated in this worksheet are reasonable starting values for a design using the LM3150. They are not optimized for any

Step 1 - General Requirements

V _{out} (V)	3.3
V _{in(min)} (V)	6
V _{in(typ)} (V)	12
V _{in(max)} (V)	42
Maximum Ave Load Current (A)	10
Switching Frequency (KHz)	250

Enter parameters in shaded cells.

Step 2 - On-Time Setting Resistor

R _{on} (kOhm)	172.0
------------------------	-------

Step 3 - Inductor Value

L (uH)	3.9
--------	-----

Step 4 - Output Capacitor and ESR Limit

Side Min R _{dson} (mOhm)	13
C _o (uF)	150.0
RMS Current Ripple(A)	0.71
Max ESR _o (mOhm)	16
Min ESR _o (mOhm)	7

Step 5 - Input Capacitors

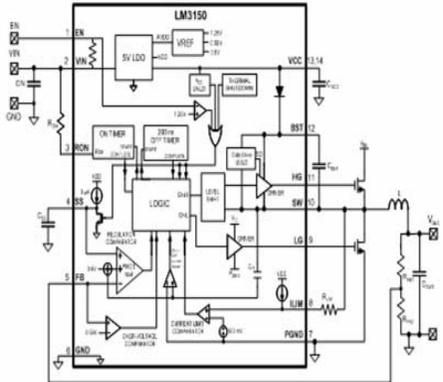
Inductor Min DCR(mOhm)	3
C _{in1} (uF)	15.0
C _{in2} (uF)	100.0
RMS Current Ripple(A)	4.48

Step 6 - Softstart Capacitor

Soft Start Time(mSec)	10
Soft Start Capacitor(nF)	120

Step 7 - Current Limit

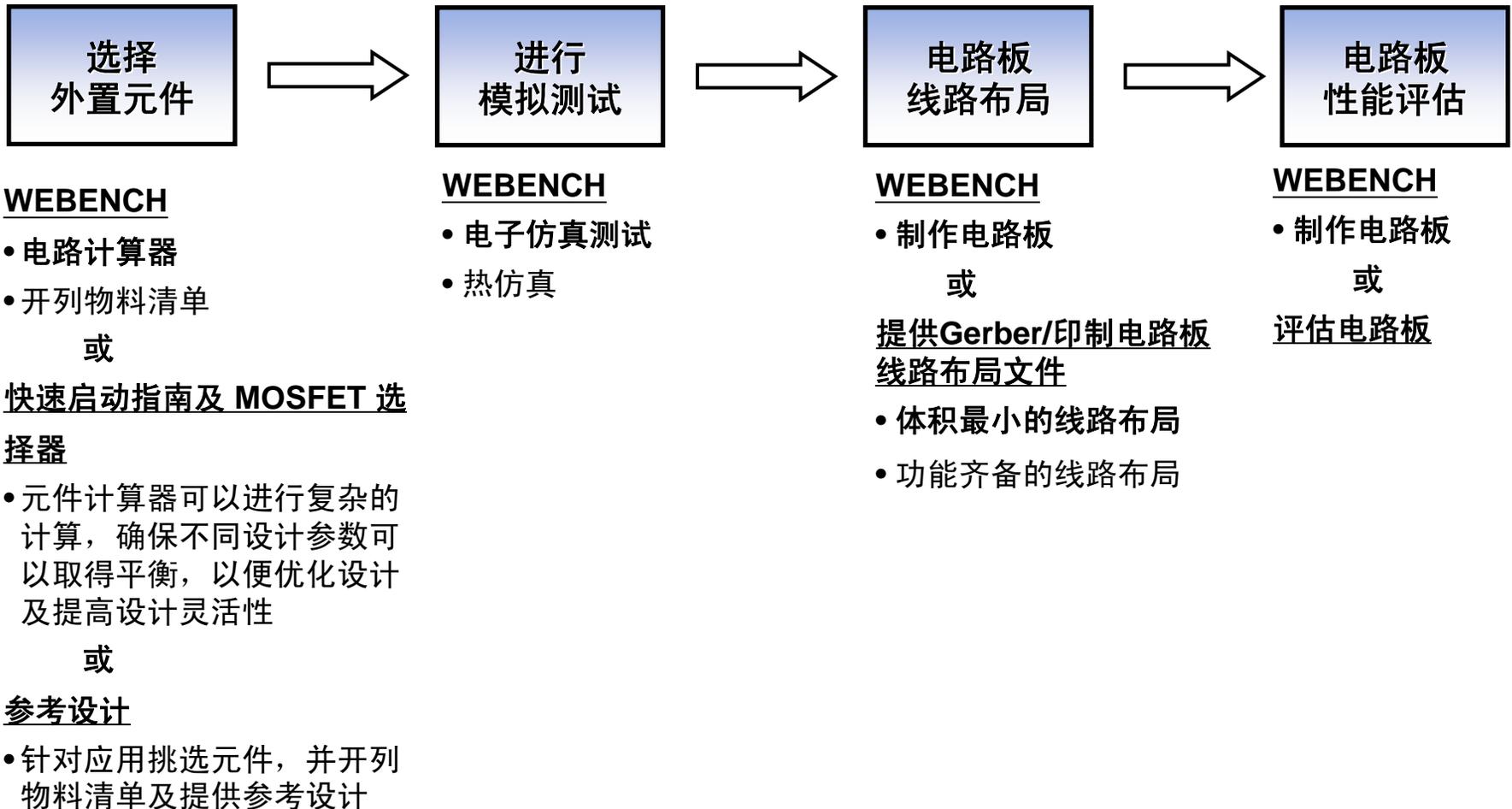
Low Side Max R _{dson} (mOhm)	33
Current Limit Setting Resistor(kOhm)	23.40
Limited Output Current(A)	15



MOSFET 选择器 = FET 计算器

快速应用指南 = 外置元件计算器

提供全面解决方案的全套设计工具



内容纲要

Simple Switcher 控制器的特点:

- 美国国家半导体不断扩大 **SIMPLE SWITCHER** 芯片系列的产品阵容，最新推出的 **SIMPLE SWITCHER** 控制器芯片可以支持高电流的应用
- 容易使用，同时系统发挥卓越的性能及效率
 - 符合 **PowerWise** 要求的能源效率指标 - 驱动大电流负载效率极高
 - 设有仿纹波模式的固定导通时间稳压功能，为供电系统提供一个性能卓越、稳定可靠、而又容易设计的解决方案
 - 只需极少元件、有助缩小方案体积
 - **WEBENCH** 网页提供全套在线及离线的设计工具



*National
Semiconductor*