

## 白皮书：瑞萨电子零待机功耗应用

### 使用数字控制来简化零待机功耗应用的设计并降低成本

John McGinty, 高级模拟部门应用工程总监

Tony Lai, 高级模拟部门 AC/DC 产品营销总监

待机能耗，即未连接负载时电源的功耗，是家庭能源浪费的主要来源。因此，对于长期插入插座且从不拔出的设备，相关的功率限制变得日益严格。其中包括家用电器和白色家电，比如洗碗机、冰箱、冰柜、洗衣机、烘干机、吸尘器、电子屏（如电视）、手机充电器以及 USB 墙上插座。如今，欧盟委员会要求大多数电器待机模式下的功率要小于 500mW，如果在待机模式下还需要显示状态信息，则功率要小于 1W。到 2027 年，这一要求将调整为待机功耗要小于 0.5W，待机时显示状态的功耗要小于 0.8W，关闭模式下的功耗为 0.3W。在美国，ENERGY STAR®（能源之星）和新的能源部（DoE）法规也在跟进，将向欧洲标准看齐。主 AC/DC 转换器负责管理这些关机模式和待机模式的功率水平，并且通过适当的技术可以实现零待机功耗（ZSP）。

在典型的始终通电的应用中，当设备（比如一台电器或电视）处于关闭或待机模式时，其系统的功耗会降到接近零，但仍需要电压来维持关键电路的偏置，以快速响应用户的输入。在此过程中，为系统提供主电压的 AC/DC 转换器会产生大部分功耗。具有零待机功耗（ZSP）功能的 AC/DC 转换器可以将这些功率水平降至远低于 500mW 的要求限制。

然而，随着功率谱的上升，实现 ZSP 的难度会增加。传统模拟解决方案往往会产生更大的供电电源和更高的电流消耗，这使得实现 ZSP 和保持较低的物料清单（BOM）成本及小封装尺寸变得更加困难。十多年前，瑞萨电子率先推出了首个采用 **1W1700** 脉宽调制（PWM）控制器的 ZSP 解决方案，利用数字控制技术使 5W 电源的待机功耗小于 5mW（1）。此后，成功开发出了强大的数字 ZSP IC 产品组合，最高支持 140W。这些解决方案增强了最初的 ZSP 解决方案，通过数字控制技术和最大限度地降低 BOM 成本，能够在维持小尺寸的情况下，使待机功率小于 5mW 或达到零待机功耗。

## 功率更高，但 ZSP 要求不变

随着额定功率的提高，ZSP 实现起来更具挑战性。大多数传统 USB 充电器的功率在 5 到 15W 之间，支持旧的“砖头”手机。现在，充电器可使用最高 100W 的功率来支持当今高度复杂的智能手机，但用户依然期望手机功耗尽可能低。带有 USB 端口的 AC 插座出现在越来越多的居所、办公室、咖啡店、机场和酒店中。当没有连接任何设备时，这些插座自然需要保持 ZSP。

这样的趋势也出现在家用电器上：这些系统的控制板通常使用功率在 15 到 20W 之间；但是，根据所使用的电机，电机控制可能会导致应用在活动模式下的功率高达 75W。HDR 4K 和 8K 电视和游戏显示器等电子屏在活动模式下的功率超过 100W，但要求在待机模式下实现零功耗。便携式电动工具的电池组也会在电池充满电和断开连接（但充电器仍处于插入状态）时悄悄消耗电量。这些充电器的功率范围在 50W 到 100W 之间。诸如此类的设备不经常使用但仍连接到 AC，因此需要为这些高输出功率提供专门的 ZSP 解决方案。

## 在高功率应用中实现 ZSP 的传统方法

电源功耗的增加带来了一些设计挑战。传统模拟转换器（图 1）的性能与电流消耗（即静态电流）成正比。因此，大部分模拟解决方案中的组件（例如基准电压源、误差放大器、比较器等）尺寸也将随着应用功率的提高而增加。这不仅增加了复杂性，也使得实现 ZSP 的电源体积更大、成本更高。

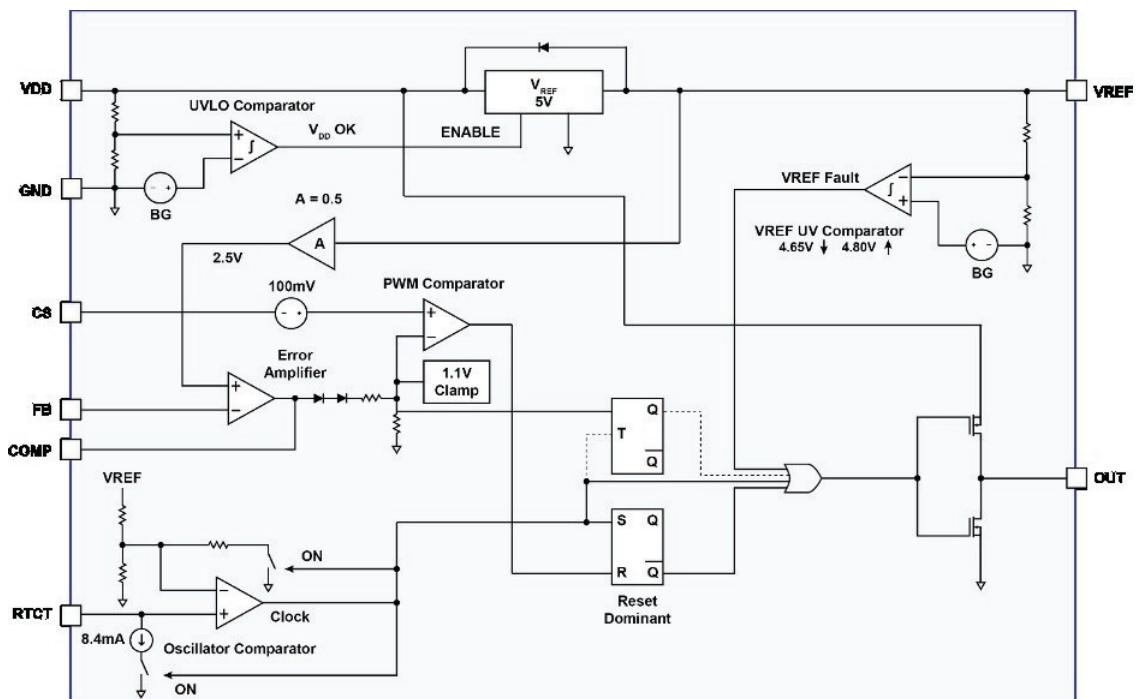


图 1：传统模拟转换器的性能通常与电流消耗成正比，这导致解决方案的尺寸随着功率的增加而增长。

## 瑞萨 ZSP 解决方案：通过数字控制来简化设计、减小尺寸、降低成本

随着额定电源越来越高，通过模拟 ZSP 解决方案降低复杂性/尺寸/成本的办法似乎越来越行不通。数字控制就成为了更有效的解决方案。瑞萨的首个 ZSP 解决方案是 **iw1700**，它使用比例-积分-微分控制器（PID）控制模块解决了 5W 充电器的问题，让模拟电路实现了一定程度的自由，其中电流消耗可以作为输出电流的函数进行增加或减少（图 2）。

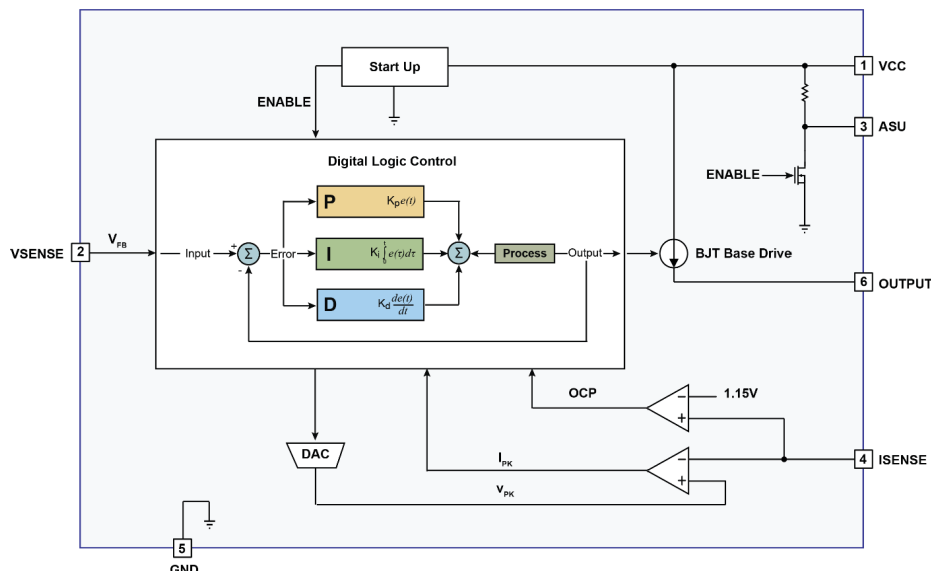


图 2: 瑞萨 **iW1700** 采用 PID 数字控制技术来实现恒定频率准谐振 PWM 控制。  
注: PID 控制被用于所有瑞萨 ZSP 解决方案。

这款 **iW1700** 准谐振 PWM 控制器是市面上最早使用 PID 控制的 IC 之一，可进行以下操作：

- 通过降低空载时的开关频率，将开关/传导损耗降至最低
- 降低关断期间的内部电流消耗，针对空载功耗进行优化
- 快速增加电流消耗，以响应导通时间内的负载变化

## 设计挑战：功率越大，所需电容越多

**iW1700** 解决方案适用于最高 5W 的电源。然而，功率越高，另一个技术难题就越突出：从 ZSP 模式转换到活动模式时，控制环路的整体性能决定了系统所需的电容量（图 3），这反过来又决定了这些组件的尺寸和成本。

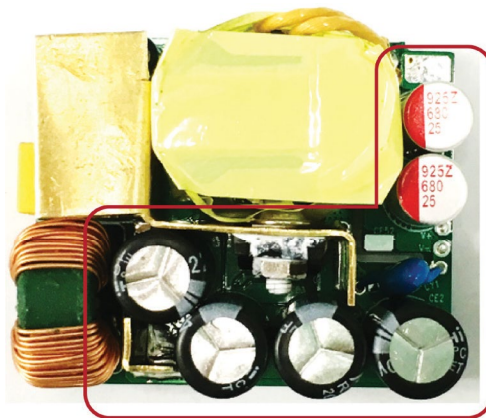


图 3: 具有 ZSP 功能的电源所使用的输出电容。  
大功率电容的尺寸是保持 BOM 成本低和解决方案尺寸小的关键。

## 瑞萨如何以最低的 BOM 成本实现 ZSP?

如表 1 所示，根据所使用的初级侧和次级侧 IC 的组合，大部分 ZSP 解决方案可用于高达 140W 的输出功率水平。

**表 1：用于 ZSP 的 AC/DC 电源管理 IC**

| 初级侧                   | 次级侧          | 同步整流器（SR）效率>90% | 输出功率 | 空载待机功率 | 初级侧驱动器类型 |
|-----------------------|--------------|-----------------|------|--------|----------|
| <b>最大输出功率&lt;12 W</b> |              |                 |      |        |          |
| <b>iW1700</b>         | -            | -               | 5W   | <5mW   | BJT      |
| <b>最大输出功率&gt;63 W</b> |              |                 |      |        |          |
| <b>iW9860</b>         | <b>iW760</b> | 集成到 iW760       | 63W  | <5mW   | FET      |
| <b>iW9860</b>         | <b>iW765</b> | 集成到 iW765       | 100W | <5mW   | FET      |
| <b>iW9860</b>         | <b>iW690</b> | 集成到 iW690       | 140W | <5mW   | FET      |
| <b>iW9870</b>         | <b>iW760</b> | 集成到 iW760       | 63W  | <5mW   | GaN      |
| <b>iW9870</b>         | <b>iW765</b> | 集成到 iW765       | 100W | <5mW   | GaN      |
| <b>iW9870</b>         | <b>iW690</b> | 集成到 iW690       | 140W | <5mW   | GaN      |

那么，瑞萨是如何在不增加 ZSP 解决方案的 BOM 数量（从而增加尺寸和成本）的情况下，达到超过 60W 的最大输出功率呢？简而言之，是通过初级和次级 IC 之间的独特动态来实现的。首先，改进了专有的数字控制技术，将空载开关频率降至 20Hz。不过，优化响应时间从空载到活动模式而达到输出电容最小化至为关键。

这一步通过对 IC 内部电路采用动态电源管理来实现，其中引入了额外的深度睡眠模式。在正常/活动模式下，初级和次级 IC 都将以其标称消耗电流工作，例如在电源输出端提供 50W 的功率。当负载断开或进入低功耗状态时，转换器本身将进入待机模式。该模式会检测到负载已“消失”，因此它可能会进入更低的功耗模式。

但是，从活动状态并不能一下子切换到最低开关频率状态（深度睡眠模式）：它将通过一个延迟来确认设备实际上将保持在超轻负载模式下。这些 ZSP 解决方案还将循环回到中间状态（待机模式），以确保系统保持空载状态。如果解决方案在切换回中间状态时实际消耗了电流，则可以非常迅速地回到正常模式，从而减少所需的响应时间和电容量去实现相同电压调节性能（图 4）。

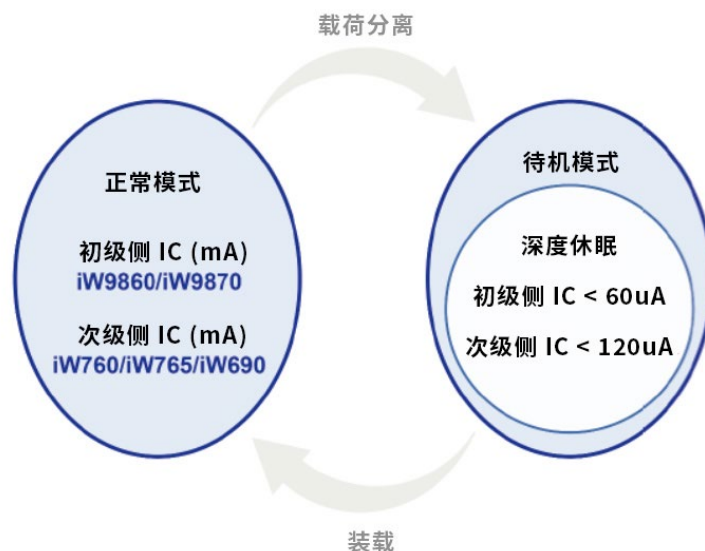


图 4: 凭借初级侧和次级侧 IC 工作状态之间的智能循环, 终端系统能够在高功率水平下实现较低的输出电容和 ZSP。

## 适用于 63 W USB PD 3.0 电源的 ZSP 解决方案

图 5 显示了业界最早用于 63W USB PD 3.0 应用的 ZSP 解决方案。虽然目标应用是 USB 充电器和适配器, 但也可以用于其他应用, 比如 AC 插座甚至小型电池供电电器的 USB 端口, 以满足新的欧盟通用充电器规范。瑞萨还面向功率高达 100W 的 USB PD 3.0 电源提供 ZSP 芯片集, 其中次级侧 IC 将从 iW760 切换到 iW765, 而初级侧 IC 保持不变 (iW9860)。

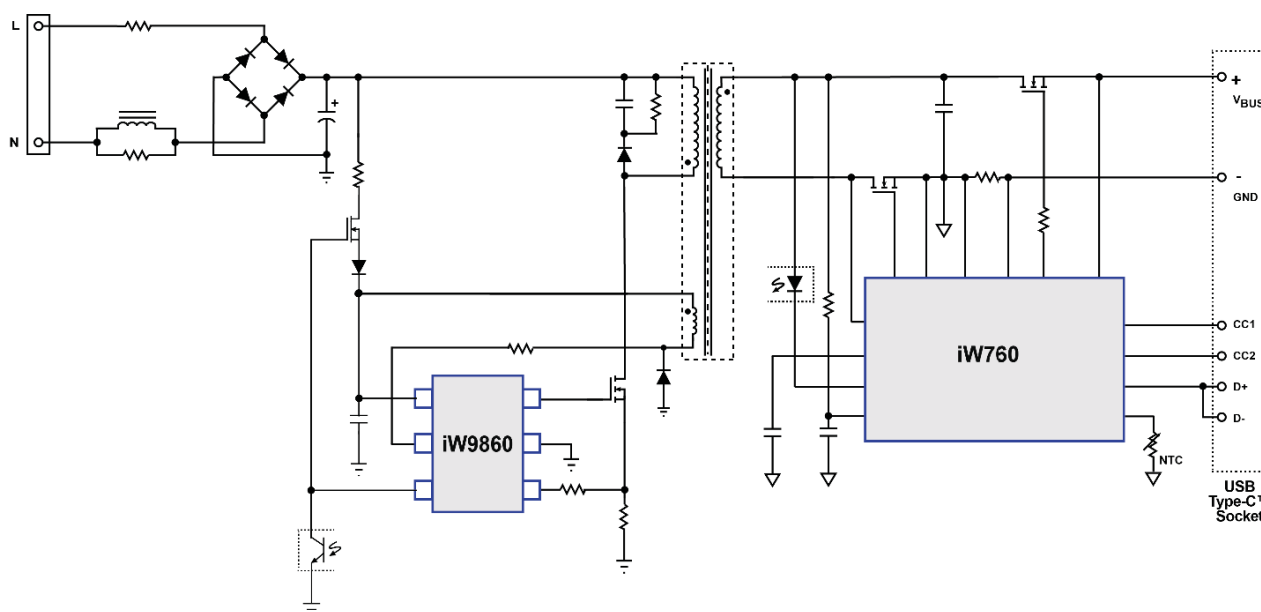


图 5: 用于 63W USB PD 3.0 电源的 ZSP 芯片集是业内最早在高功率下实现 ZSP 的芯片集。使用 iW765 代替 iW760 可实现 100W。

## 利用硅 MOSFET 或 GaN HEMT 开关器件的 140W 电源 ZSP 解决方案

图 6 显示了 140W 电源的电路。初级侧设备还是同样的 **iW9860**，但次级侧现在改为了 **iW690**。在该应用电路中，取消了对 USB Type-C 连接器的支持，芯片集改为控制具有固定输出电压（例如 12V 至 20V）的电源。

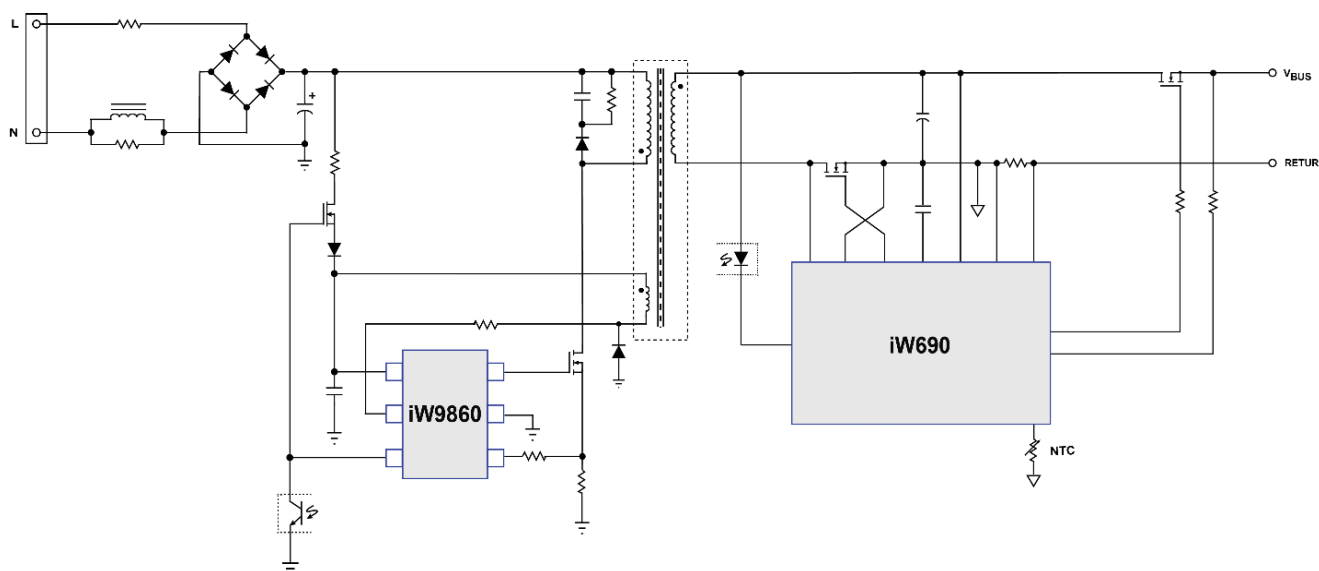


图 6：电源功率最高 140W 的电器和电视的应用电路，初级侧和次级侧 IC 分别为 **iW9860** 和 **iW690**，采用了硅 MOSFET。将初级侧 IC 改为 **iW9870**，可实现 GaN HEMT 兼容电路。

虽然图 6 显示了利用硅 MOSFET 的解决方案，但当初级侧电路 IC 更改为 **iW9870** 时，GaN HEMT 兼容电路也可以与 140W 电源一起使用。此功能在下一代电器、电动工具和电视中非常重要，这些电器、电动工具和电视旨在通过使用 GaN 开关器件更高效地运行并减小系统尺寸。宽带隙（WBG）半导体可以在更高的开关频率下运行，并实现比传统硅技术高得多的功率密度，因此在商业解决方案中将更常见。

## 结论

电器和设备在不执行主要功能时也会消耗电力，导致这些“常接”的电路浪费电力，而这些待机功耗占家庭用电量的很大一部分。这促使标准组织不得不修改能效规范，以推动消费类电子产品设计人员创建更高效的 ZSP 电源。

瑞萨在 ZSP 行业的领导地位持续十多年，其中 **iW1700** 是市面上最早使用智能数字控制来实现 ZSP 的产品之一。紧随其后的是 **iW9860** 和 **iW760**，它们是支持高达 63W 电源的 ZSP 产品组合。目前，瑞萨有一整套解决方案可用于高达 140W 的电源，使电器、电视、电动工具和 USB 充电器/适配器制造商能够在不大幅增

加成本或复杂性的情况下，快速实施 ZSP 解决方案。这些电源设计还使设计人员能够轻松满足新的欧盟生态设计（EcoDesign）和能源之星（美国）法规。

---

### 重要通知和免责声明

瑞萨电子株式会社及其关联公司（以下简称“瑞萨”）的技术规范和可靠性数据（包括数据手册）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、Web 工具、安全信息以及其他资源“按原样”提供，不保证无瑕疵。瑞萨不做任何明示或暗示保证，包括但不限于产品适销性、特定用途适用性或不侵犯第三方知识产权的保证。

这些资源的适用对象为使用瑞萨产品熟练进行设计的开发人员。以下事宜请自行负责：(1) 为您的应用选择合适的产品，(2) 设计、验证和测试您的应用，(3) 确保您的应用符合适用标准以及安全性等所有其他要求。这些资源如有更改，恕不另行通知。瑞萨仅授权您将资源用于开发采用瑞萨产品的应用。严禁复制这些资源或用于其他用途。我们未授予任何其他瑞萨知识产权或任何第三方知识产权的许可。

瑞萨对因使用这些资源而产生的任何索赔、损害、成本、损失或负债概不负责，且瑞萨及其代表的全部损失须由您赔偿。瑞萨的产品仅遵守瑞萨的销售通用条款和条件，或书面签订的其他适用条款。使用瑞萨的任何资源不会扩大或更改这些产品的任何适用保修或保修免责声明。

(Rev. 1.0 Mar 2020)

#### 公司总部

135-0061, 日本东京江东区  
豊洲 3-2-24, TOYOSU FORESIA

<https://www.renesas.com>

#### 联系信息

有关产品、技术的更多信息，文档的最新版本，  
或离您最近的销售办公室，请访问：

<https://www.renesas.com/contact-us>

#### 商标

瑞萨电子的名称和徽标是瑞萨电子公司的商标。

所有商标和注册商标均为其各自合法所有者的财产。

© 2023 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.

Doc Number: R30WP0005CC0100