高效电源用临界模式 PFC 控制 IC “FA1A60N” 和 LLC 电流谐振控制 IC “FA6B20N”

Critical Mode PFC Control IC “FA1A60N” and LLC Current Resonant Control IC “FA6B20N” for High-Efficiency Power Supplies

园部 孝二 SONOBE, Koji　　**矢口 幸宏** YAGUCHI, Yukihiro　　**北条 公太** HOJO, Kota

在电子设备中使用的较大容量的开关电源中，需要抑制高次谐波电流的功率因数校正（PFC）电路，同时，可有效实现低干扰化的 LLC 谐振电流电路已被广泛普及。富士电机在继承以往技术的基础上，追加了新功能，开发出了临界模式 PFC 控制 IC “FA1A60N” 和 LLC 电流谐振控制 IC “FA6B20N”。通过组合适用这些 IC，不但提升了电源系统轻负载时的效率，还能实现低待机电力、削减电源部件，从而降低系统成本。此外，新 IC 还可适用于电源适配器，这是传统产品无法做到的。

For the relatively large capacity switching power supplies for electronic equipment, a power factor correction (PFC) circuit is required to suppress harmonic current, and a LLC current resonant circuit is also widely used due to the effectiveness in low noise applications. Fuji Electric has developed the critical mode PFC control IC “FA1A60N” and LLC current resonant control IC “FA6B20N” adding new functionality while using our conventional technology. Using these ICs in combination allows power supply systems to improve the efficiency during light loads, achieve low standby power, and reduce the system cost by reducing the number of power supply components.

1 引言

近年来，开关电源被要求提高效率和降低系统成本。在输出电力 75 W 以上的电源系统中，根据国际标准 IEC 61000-3-2，为了抑制会导致设备运行故障和功率因数下降，从而引发无功功率增加等问题的高次谐波电流，必须采用功率因数校正（PFC：Power Factor Correction）电路。另外，实施软开关控制、有效实现低干扰化的 LLC 电流谐振电路被广泛用于电力转换部。

过去，富士电机对面向 PFC 电路，降低电源成本和改善轻负载时效率的临界模式 PFC 控制 IC “FA1A00N 系列” 进行了产品化。此外，还面向 LLC 电流谐振电路，对支持 AC85 ～ 264 V 的多种输入电压、可构成小型电源系统的 LLC 电流谐振控制 IC “FA5760N”，以及实现了低待机电力化和充实了保护功能的 LLC 电流谐振控制 IC “FA6A00N” 进行了产品化。

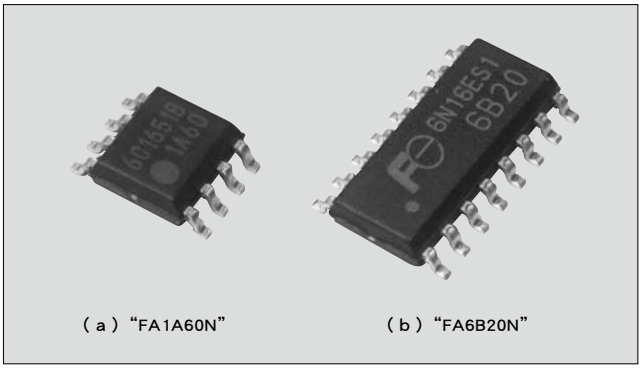
此次，富士电机在继承以往技术的基础上，开发了进一步改善电源系统轻负载时的效率、实现了低待机电力、减少了电源部件的临界模式 PFC 控制 IC “FA1A60N” 和 LLC 电流谐振控制 IC “FA6B20N”（**图 1**）。

使用这些 IC 的电源的特点如下所示。

(a) 电源部件数量大幅减少
(b) 提升轻负载时的效率（输出电力 P_o=5 W 时的效率为 75%）
(c) 削减待机状态的耗电量
(d) 低输入电压时高负载启动
(e) 正常状态和待机状态可自动切换

另外，通过实现(d)、(e)，还可适用于电源适配器中。

本稿将对 FA1A60N 和 FA6B20N 的特点和在电源中的适用效果进行介绍。



（a）“FA1A60N”　　（b）“FA6B20N”

图 1 外观

2 临界模式 PFC 控制 IC “FA1A60N” 的特点

2.1 概要

图 2 展示了 FA1A60N 的框图，**表 1** 展示了 FA1A60N 与传统产品的功能比较。一般，临界模式 PFC 控制 IC 在 MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）的漏极电压的最低电压（底部）时开通。传统产品内置轻负载时使开通信号跳过，抑制开关频率上升的底部跳过功能。与此相对，FA1A60N 为了进一步提升轻负载时的效率，如 **2.2 节**所述，内置了通过故意设置开关停止期间的脉冲串动作，来削减消耗电流的功能。

电子设备的状态，可分为运行主要功能的正常状态，以及停止这些功能的待机状态。正常状态下不设置开关停止期间，连续进行开关，待机状态下则运行脉冲串。FA1A60N 中，从正常状态切换为待机状态的信号，为从 LLC 电流谐振控制 IC FA6B20N 发送到 FA1A60N 的 RT 端子上。从 FA6B20N 发送而来的信号除了有待机信号，还有输入电压信息、PFC 停止信息，FA1A60N 可进行高效率的控制。

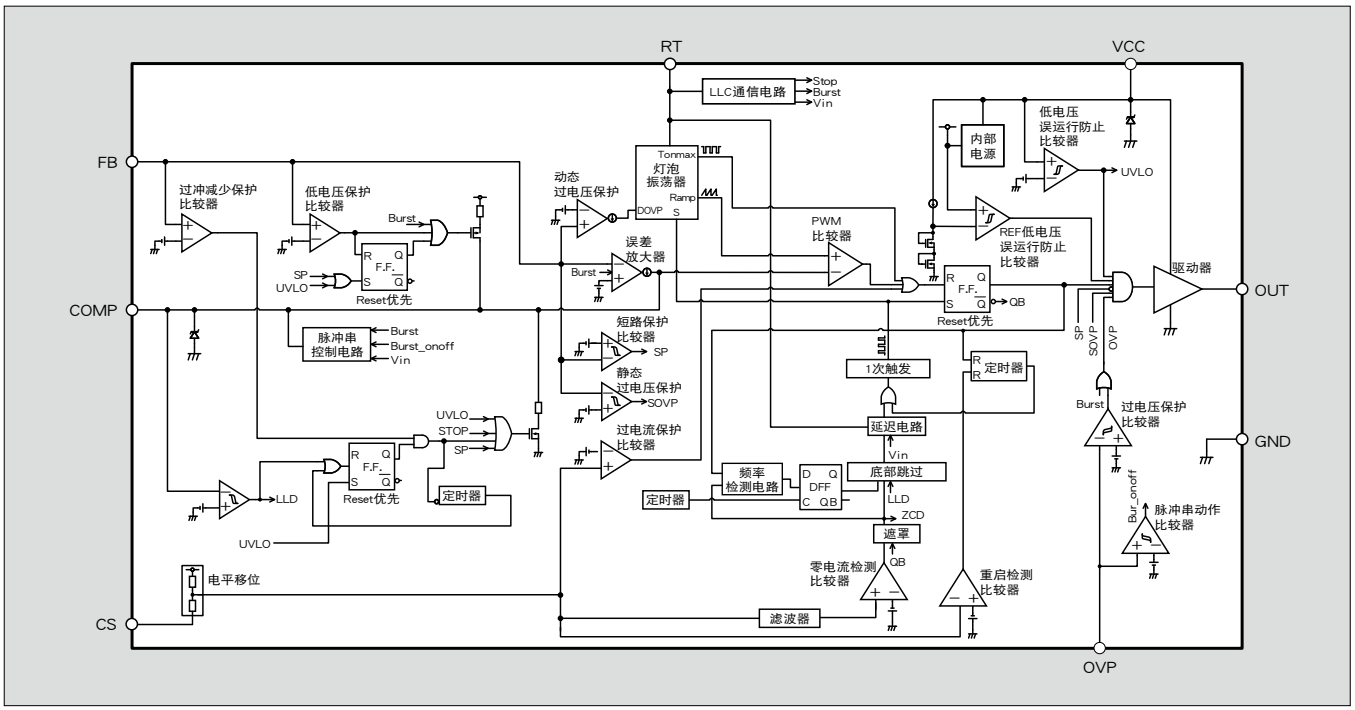


图 2 “FA1A60N”的框图

表 1 “FA1A60N”和传统产品的功能比较

项目	FA1A60N	传统产品
轻负载时的底部跳过功能	有	有
待机状态下的脉冲串动作	有	无
待机状态的电流消耗	250 μA	500 μA
与 LLC 的协作功能	有	无

FA1A60N 的封装采用了 JEDEC 标准的 8 针 SOP (Small Outline Package)。

2.2 高效脉冲串控制

停止 PFC 电路的开关，可有效在待机状态下实现低待机电力。但此时存在以下的问题。

(a) 切断对 PFC 控制 IC 的电源供应的开关电路必不可少。

(b) PFC 电路的输出电压会降低，因此会因对高负载的瞬态响应，而使输出电压下降。

(c) LLC 电流谐振电路必须要应对大范围的输入电压，因此，变压器设计的自由度低。

为解决这些问题，FA1A60N 在待机状态时导入了脉冲串动作（**图 3**）。FA1A60N 的脉冲串动作为，当 PFC 输出电压 V_{bulk} 达到上限值以上时，开关会停止，在下限值以下时，重新开始开关。如此，通过在维持 PFC 输出电压的同时减少开关损耗，实现了待机状态下的高效率和低待机电力。

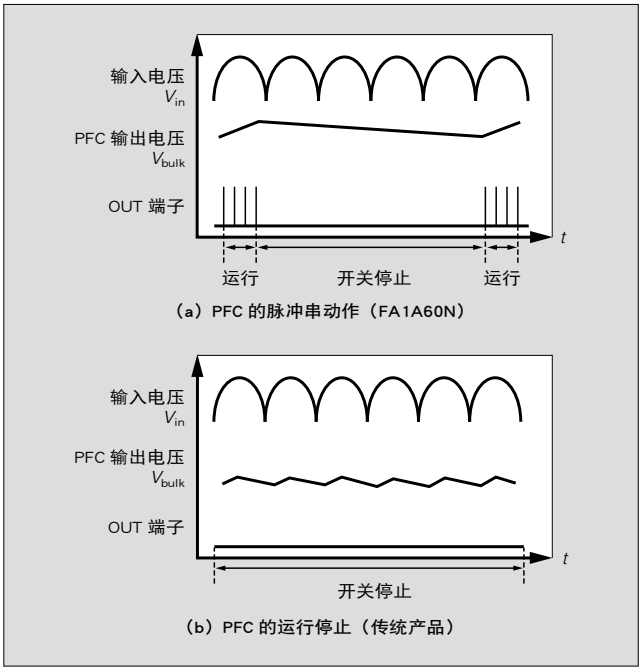


图 3 PFC 在待机时的动作

3 LLC 电流谐振控制 IC “FA6B20N”的特点

3.1 概要

图 4 展示了 FA6B20N 的框图，**表 2** 展示了 FA6B20N 与传统产品的功能比较。

FA6B20N 由控制 LLC 电流谐振电路的控制电路、可直接驱动半桥电路的高端和低端开关元件的 630 V 耐压驱动电路，以及以低耗电量启动 IC 的 600 V 耐压启动元件构成。

另外，凭借内置 **3.2 节**中介绍的自动待机功能，无需

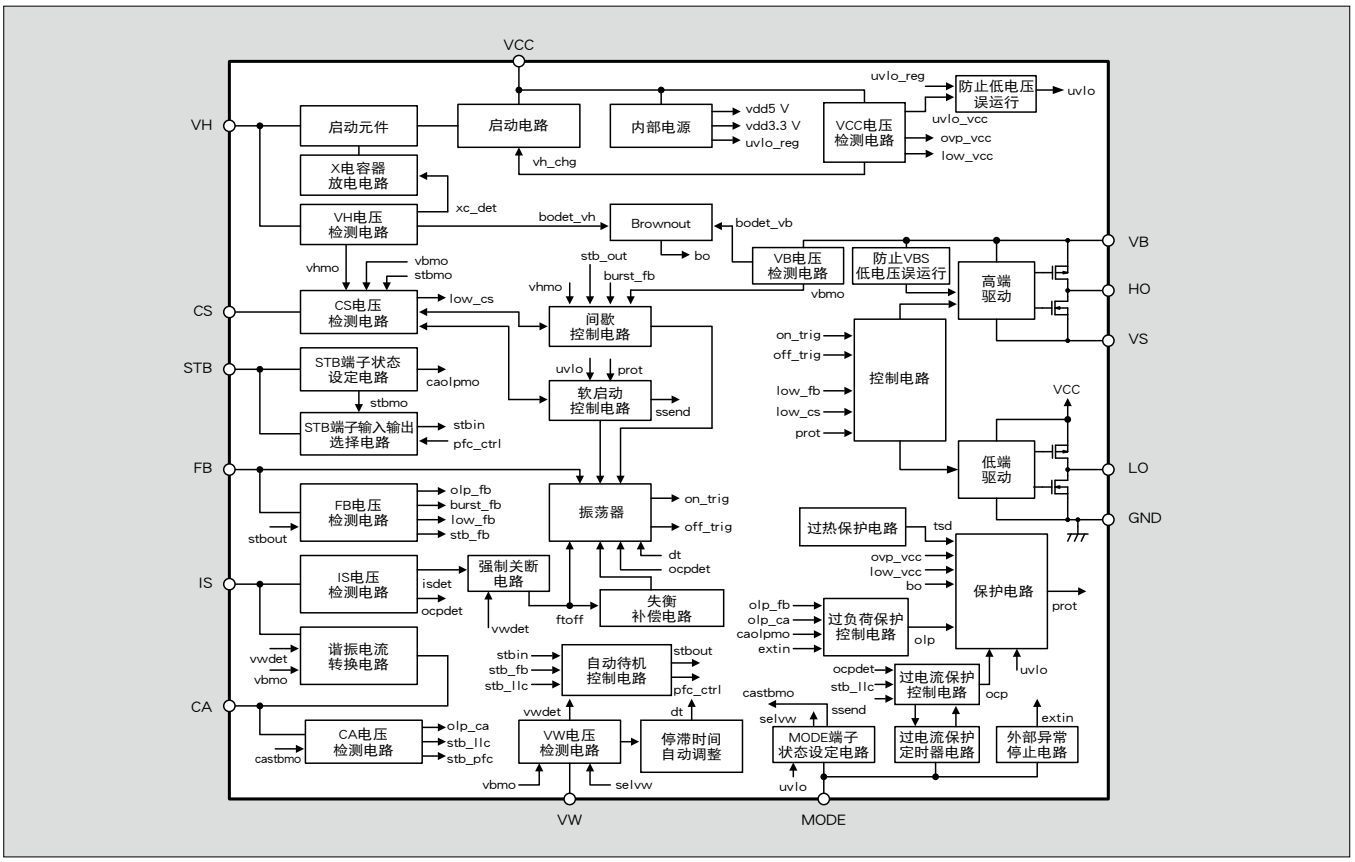


图 4 “FA6B20N”的框图

表 2 “FA6B20N”和传统产品的功能比较

项目	FA6B20N	传统产品
自动待机功能	有	无
PFC 在待机状态下的动作	运行	停止
轻负载时的效率（P_o=5 W）	75%	60%
待机电力（V_{in}=230 V，P_o=125 mW）	260 mW	270 mW
与 PFC 的协作功能	有	无

从外部发送待机信号，因此，可适用于传统产品无法适用的电源适配器中。并且，在待机状态下也能运行 PFC 电路，同时实现高效率和低待机电力。除此以外，凭借让 PFC 电路先于 LLC 电流谐振电路运行的协作动作，可在低输入电压下实现高负载启动。封装采用了 JEDEC 标准的 16 针 SOP。

3.2 自动待机功能

传统产品为降低待机状态下的待机电力，会运行脉冲串。此时，必须接收电源二次侧发送的待机信号，因此，会导致部件数量增加。

而 FA6B20N 内置了在 IS 端子检测一次侧 LLC 电流谐振电路的谐振电流，用电容器使 CA 端子的电压保持平滑，从而检测出二次侧负载信息的功能。**图 5** 展示了 FA6B20N 的负载 P_o 和 CA 端子电压的关系。FA6B20N 具备使 IC 的运行连续开关的正常状态，以及故意设置开关

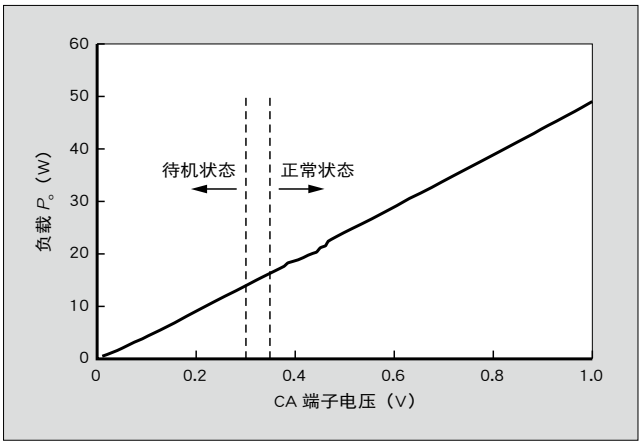


图 5 “FA6B20N”的负载 P_o 和 CA 端子电压的关系

停止期间、运行脉冲串的待机状态自动切换的自动待机功能。凭借这一功能，正常状态下，当 CA 端子电压低于 0.3 V 时，将切换为待机状态，待机状态下，CA 端子电压在 0.35 V 以上时，将切换为正常状态。

FA6B20N 中，用户可通过从 3 个级别中选择连接到 MODE 端子的电阻，从而设定切换待机状态和正常状态的电压。通过在切换的电压上设置滞后，使待机状态和正常状态同在导致的不稳定状态不易发生。

3.3 高效脉冲串控制

富士电机的 LLC 电流谐振控制 IC 在待机状态下，凭借脉冲串控制，可削减开关次数，从而降低开关损耗、提升效

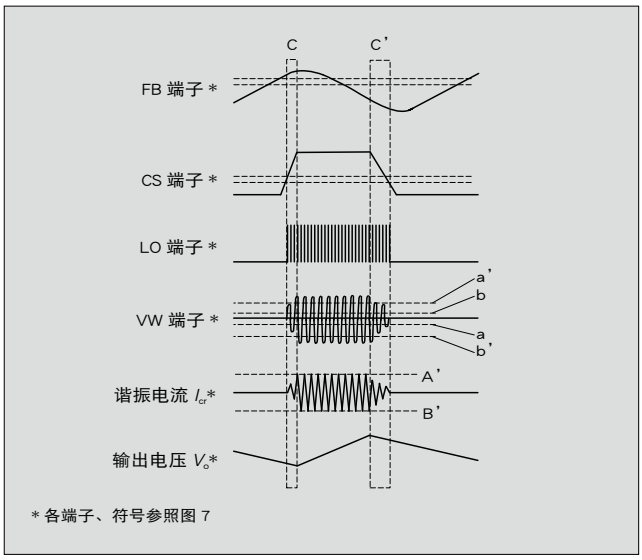


图 6 “FA6B20N”脉冲串控制的序列图

率。在脉冲串控制中，若输出电压下降，FB 端子电压升高，将以为 CS 端子电容器充电的软启动开始开关，输出电压将上升。若输出电压上升，FB 端子电压下降，将以为 CS 端子电容器放电的软结束停止开关。**图 6** 展示了 FA6B20N 脉冲串控制的序列图。通过使 VW 端子的强制关断电压级别从正常状态（a–b）切换为待机状态（a’–b’），并抑制谐振电流的峰值（A’–B’），抑制了输出电压的脉动和杂音，以及谐振电流导致的损耗。并且，通过缩短软启动（C）和软结束（C’）的区间，削减了无效开关领域，以期实现效率的提升。

3.4 提升静电破坏耐量

过去，LLC 电流谐振控制 IC 的 VH 端子上，静电破坏耐量的 HBM（Human Body Model）为＋1 kV。FA6B20N 为了向 VCC 端子供应电流，通过改良 VH 端子中内置的启动元件，使静电破坏耐量达到了＋2 kV。

4 对电源的适用效果

4.1 削减电路部件数量

图 7 展示了搭载 FA1A60N 和 FA6B20N 的应用电路的示例。PFC 控制 IC 和 LLC 电流谐振电路 IC 的协作，是在 FA1A60N 的 RT 端子和 FA6B20N 的 STB 端子间进行的（**图 7** 的 A 部）。**表 3** 展示了具有相同功能的电源中，相对于搭载传统产品时的电源部件的削减效果。搭载 FA1A60N 和 FA6B20N 的电源中，无需从外部传递待机信号的电路和向 PFC 控制 IC 的 VCC 端子供应电源的开关电路，追加了 RT 端子和 STB 端子协作用的电路。结果使电源整体的部件数量从旧产品的 102 个削减到 95 个，减

表 3 电源部件的削减示例

功能	部件	数量
外部待机信号	光电耦合器	–1
	MOSFET	–2
	电阻	–3
向 PFC 的 VCC 端子供应电源的开关	晶体管	–1
	二极管	–2
	齐纳二极管	–1
	电阻	–2
PFC 和 LLC 的协作	晶体管	1
	电阻	2
	电容器	2
合计		–7

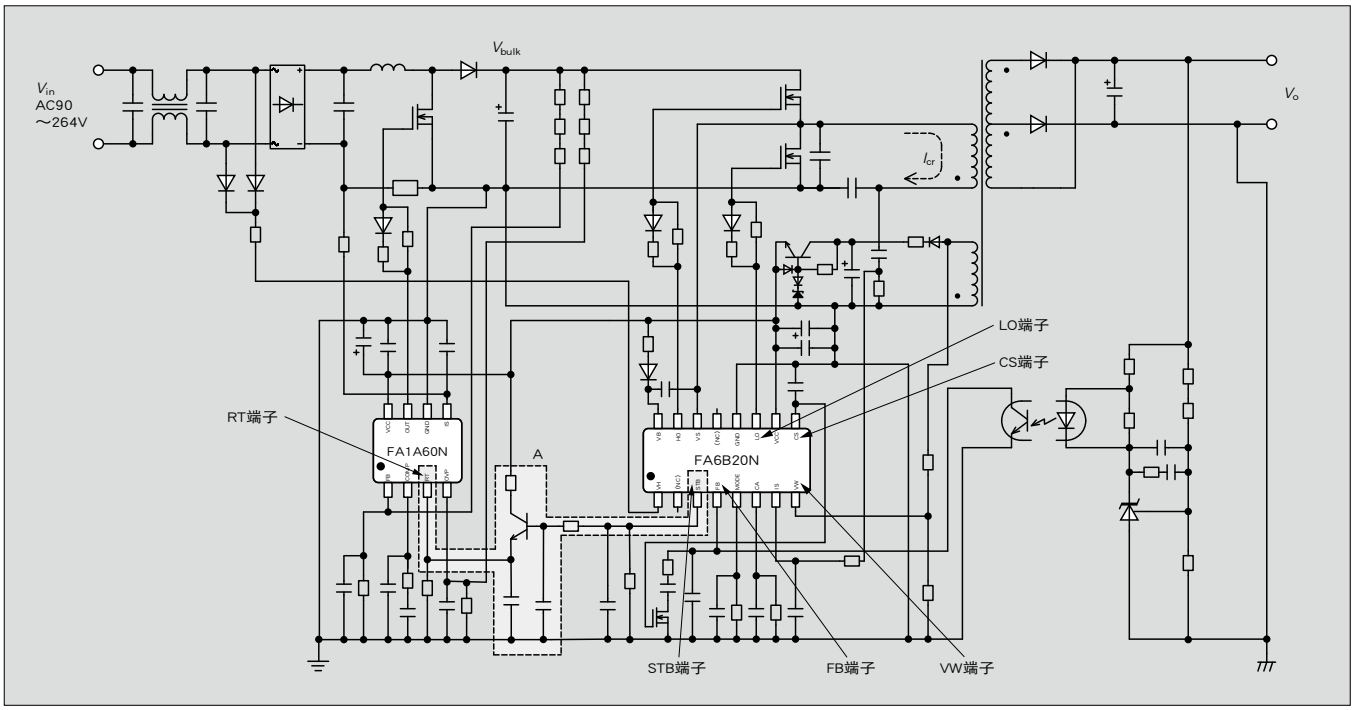


图 7 “FA1A60N”和“FA6B20N”的应用电路示例

少了 7 个部件。尤其是可削减容易故障的部件光电耦合器。

4.2 提升轻负载时的效率

图 8 展示了输入电压 AC240 V 的轻负载时的效率。搭载了 FA1A60N 和 FA6B20N 的电源，相比搭载待机状态时停止 PFC 控制 IC 的传统产品的电源，15 W 以下时的效率较高，负载 P_o 为 5 W 时的效率达到了 75%。

图 9 展示了负载 P_o 为 125 mW 时的待机电力。搭载了 FA1A60N 和 FA6B20N 的电源，相比搭载传统产品的

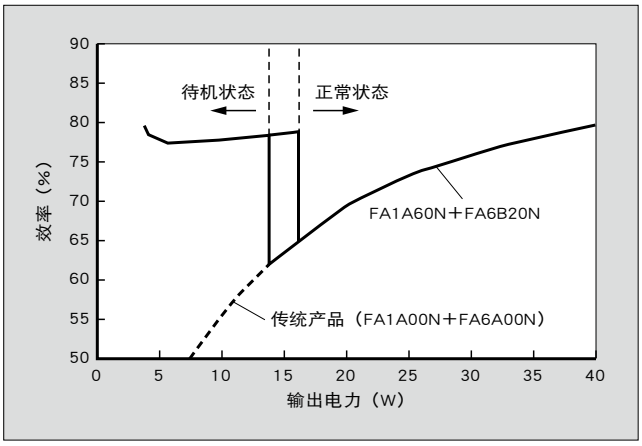


图 8　轻负载效率（输入电压 AC240 V）

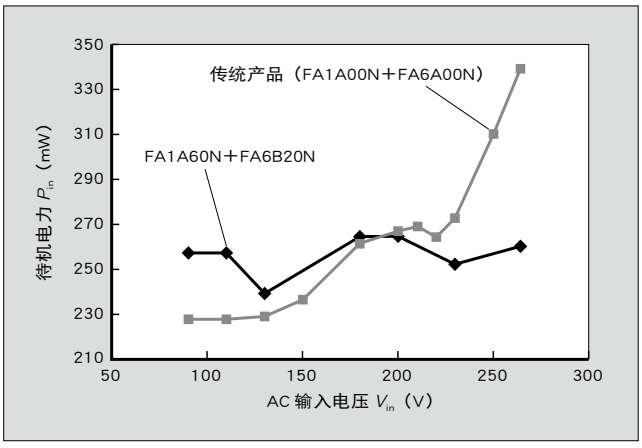


图 9　待机电力

电源，待机电力对 AC 输入电压的依赖性小，AC230 V 输入时，实现了 260 mW 以下的待机电力。

4.3 应对高负载启动的启动序列

图 10 展示了搭载 FA1A60N 和 FA6B20N 的电源低输入电压时的高负载启动波形。评估条件为输入电压 AC90 V，输出电压 V_o13 V，输出电流 I_o4.2A。搭载了 FA1A60N 和 FA6B20N 的电源在接通电源后，PFC 电路会率先开始运行。PFC 电路的输出电压 V_{bulk} 上升后，LLC 电流谐振电路将开始运行，输出电压 V_o 上升。LLC 电流谐振电路开始运行时，V_{bulk} 会上升，因此，过负载保护不会停止，且 V_o 将上升，可实现低输入电压时的高负载启动。凭借这样的启动序列，可适用于电源适配器中。

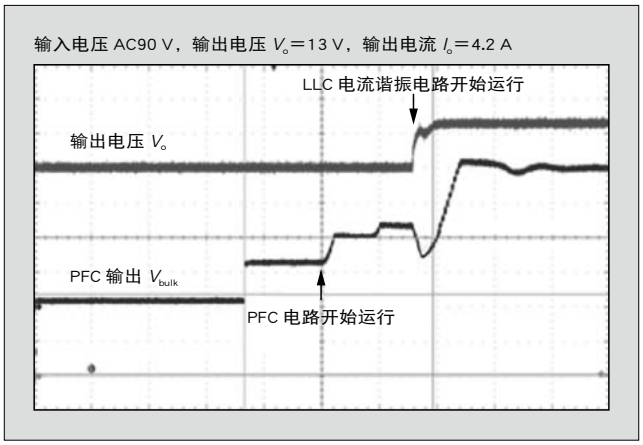


图 10　低输入电压时的高负载启动波形

5　后记

本稿对高效电源用临界模式 PFC 控制 IC“FA1A60N”和 LLC 电流谐振控制 IC“FA6B20N”的特点，以及对电源的适用效果进行了介绍。通过搭载这些 IC 后构成电源，可削减电源部件数量，实现待机状态下的高效率和低待机电力，并适用于电源适配器中。

富士电机将持续推进开发工作，以在今后确立可进一步实现高效、低待机电力和部件削减的新技术，从而响应日益严格的标准和市场要求。

参考文献

⑴　山田谷政幸ほか. LLC 電流共振制御 IC「FA5760N」. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.445-451.
⑵　陈建等. 第 2 代 LLC 电流谐振控制 IC“FA6A00N 系列”. 富士电机技报. 2014, vol.C6, no.1, p.18-22.
⑶　菅原敬人等. 第 3 代临界模式 PFC 控制 IC“FA1A00 系列”. 富士电机技报. 2015, vol.C7, no.1, p.25-28.
⑷　川村一裕等. LLC 电流谐振电源的电路技术. 富士电机技报. 2015, vol.C7, no.1, p.29-33.

园部　孝二
从事电源 IC 的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部事业统括部分立器件・IC 技术部。

矢口　幸宏

从事电源 IC 的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部事业统括部分立器件・IC 技术部。

北条　公太

从事功率半导体的现场应用工程设计。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部营业统括部应用技术部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。