第 4 代临界模式 PFC 控制 IC“FA1B00 系列”

“FA1B00 Series” 4th-Generation Critical Conduction Mode, Power Factor Correction Control ICs

远藤　勇太 ENDO, Yuta　　矢口　幸宏 YAGUCHI, Yukihiro　　日朝　信行 HIASA, Nobuyuki

富士电机为满足削减电源装置的电力消耗及低成本化的市场需求，开发了第 4 代临界模式 PFC 控制 IC“FA1B00 系列”。为了兼顾控制输出电压纹波与降低电源高次谐波电流，研究了一种新的输入电流梯形波状控制方式。实现了 PFC 电路的输出电容器的小型化。另外，通过继承传统机型具有的轻负载时的底部跳过功能和待机时的脉冲串功能，也兼顾了电源装置消耗电力的削减与低成本化。

Fuji Electric has developed the “FA1B00 Series” 4th-generation critical conduction mode, power factor correction control ICs to meet the market demand for power supplies with low power consumption and low cost. We have newly developed an input current trapezoidal wave control method to suppress output voltage ripple while reducing power source harmonic current. This method facilitates the miniaturization of the output capacitor of a PFC circuit. Furthermore, by inheriting the light-load bottom-skip function and standby mode burst function from the previous model, the “FA1B00 Series” helps reduce the power consumption and cost of power supplies.

1　引言

随着电视等的电子设备的小型轻量化，开关电源的使用得到了广泛普及。开关电源中的高次谐波电流会造成设备或配电设备的运行故障或功率因数低下，使表观功率增加。因此，在国际标准 IEC 61000-3-2 中，如**表 1** 所示，将电气电子设备分成等级 A～D，针对电源高次谐波电流设置了规定值。

为了解决该电源高次谐波电流及功率因数的问题，广泛使用了有源滤波方式的功率因数改善（PFC：Power Factor Correction）电路，富士电机对控制该 PFC 电路的 IC 进行了产品化。

近年来，电视等电子设备的小型低价格化要求强烈，对产品进行供电的开关电源也有同样的小型低价格化要求。

而且，为了抑制地球环境的恶化，所有电器产品的节能化也变得越来越重要。对于 PFC 电路也要求削减待机电力和提高轻负载时的效率。

富士电机为了满足这些要求，继高次谐波电流对策性产品的第 3 代临界模式 PFC 控制 IC“FA1A00 系列”之后，开发了符合电源高次谐波规定，同时实现 PFC 电力输出电容器小型化，并且能够在轻负载或待机时对电源进行高效控制的第 4 代临界模式 PFC 控制 IC“FA1B00 系列”。

表 1　高次谐波电流的规定（IEC 61000-3-2）的分类

分类	代表性设备
等级 A	白色家电、音响设备
等级 B	便携式电动工具、电弧焊机
等级 C	照明设备
等级 D	PC、TV

2　“FA1B00 系列”的概要

图 1 是本次开发的 FA1B00 系列的外观，**表 2** 是主要功能比较。

FA1B00 系列以在传统 FA1A00 系列的基础上内置了用于削减待机电力的通信功能和脉冲串功能的“FA1B20N”为基础，推出了改为控制 PFC 输出电压纹波的“FA1B21N”。输出电容器如使用陶瓷电容器或薄膜电容器，和传统的电解电容器相比，体积只有 1/10，有助于

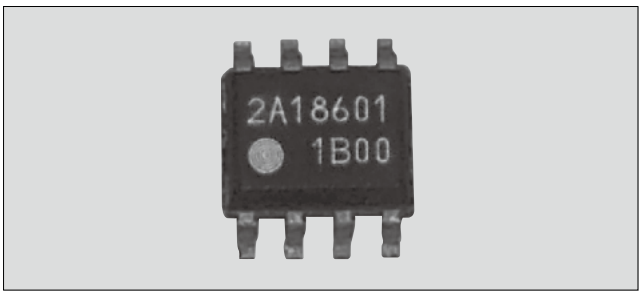

图 1　“FA1B00 系列”

表 2　“FA1B00 系列”的主要功能比较

项目	FA1B00N	FA1B20N	FA1B21N
开通时机检测	ZCD 绕组	电感电流	电感电流
脉冲宽度控制	电压模式	电压模式	电流模式
轻负载时开关运行	最大频率限制	底部跳过	底部跳过
与 LLC 的通信功能	无	有	有
电流检测极性	正极	负极	负极
PFC 输出过电压保护	1 重	2 重	2 重
主要应用	LED 照明 等	通用	薄型 TV

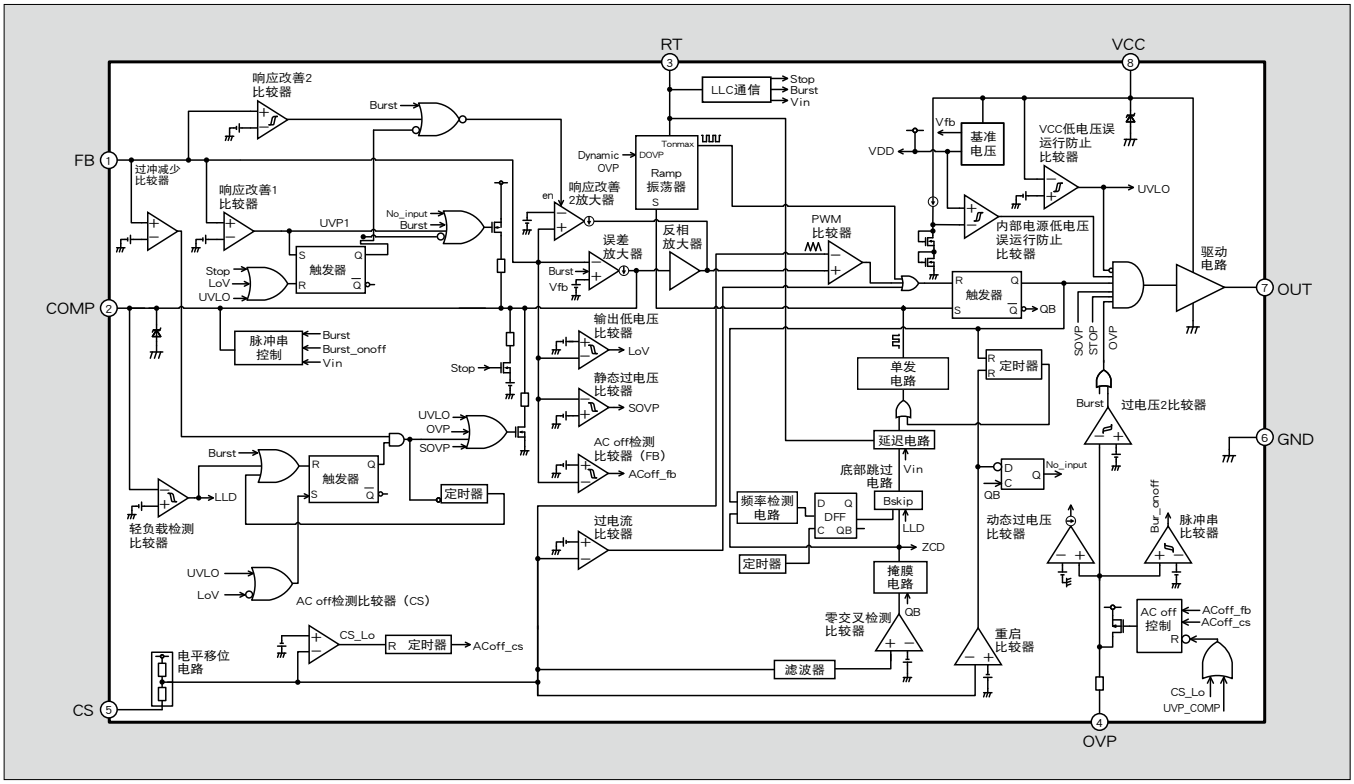

图 2 “FA1B21N”的框图

实现装置的小型化和长寿命化。但是，电容器容量也会变小，存在大大超出连接在 PFC 电路后段的转换器的输入电压规格的缺点。为了弥补这个不足，本 IC 对输出电压的纹波进行了抑制，实现了装置的小型化和长寿命化。

另外，在电感电流的零交叉检测中，使用 ZCD（Zero Current Detection）绕组来决定 MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）的开通时机，面向需要改善轻负载下功率因数的应用，推出了“FA1B00N”。**图 2** 是“FA1B21N”的框图。

3 特点

3.1 PFC 输出电容器的小型化

图 3 是 PFC 电路部分的概念框图。

一般来说，该电路的电容器需要大容量，并具有与输出电压 400 V 对应的高耐压（电解电容器为 450 V）性。因此，存在 PFC 输出电压平滑电容器（C2）的体积变大，在电源基板的 PFC 电路部分占有较大专属面积的问题。

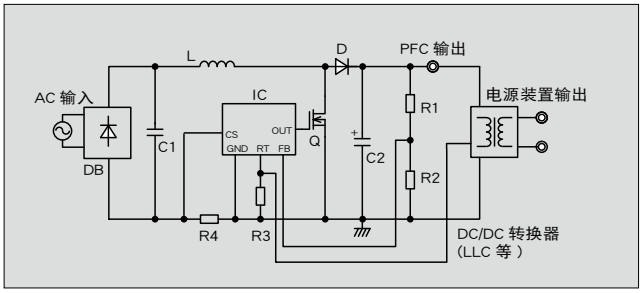

图 3 PFC 电路部分的概念框图

如为实现基板的空间节省及低成本而缩小电容器的体积，则在常规运行状态下的 PFC 输出电压纹波会变大。进而，当发生商用 AC 输入变化及负载变化等动态情况时，针对输入电压会在 90 度相位附近产生高输出电压，功率元件或电解电容器会由于该过电压而发生破坏。另一方面，在 0 度附近，输出电压大幅降低，有时会低于 PFC 电路后段连接的 DC/DC 转换器的最低输入电压，从而造成电源运行停止或设备系统复位。

因此，作为一种实现抑制输出电压纹波和降低电源高次谐波电流的新控制方式，研究并使用了一种将输入电流控制为梯形波状的新方式（输入电流梯形波状控制方式）。

公式(1)是正弦波状的输入电流即传统方式的输出电压纹波的理论公式，公式(2)是将输入电流近似为矩形波的新方式的输出电压纹波的理论公式，**图 4** 是波形模式图。

$$\Delta V_{PP0}=\frac{P_o}{2\pi f_{ac}V_oC} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\Delta V_{PP1}=\left(\sqrt{\pi^2-4}+2\arcsin\left(\frac{2}{\pi}\right)-\pi\right)\Delta V_{PP0}$$

$$=0.661\Delta V_{PP0} \quad \cdots\cdots(2)$$

ΔV_{PP}：输出电压纹波（Peak to Peak）
P_o ：输出电力
f_{ac} ：AC 输入频率
V_o ：输出电压
C ：PFC 输出电容器容量

根据公式(1)和(2)，可以发现矩形波相比于正弦波，输出电压纹波减小至 66.1%。因此，通过新的梯形波状控制方式，能和矩形波一样降低输出电压纹波，同时还有望实现比

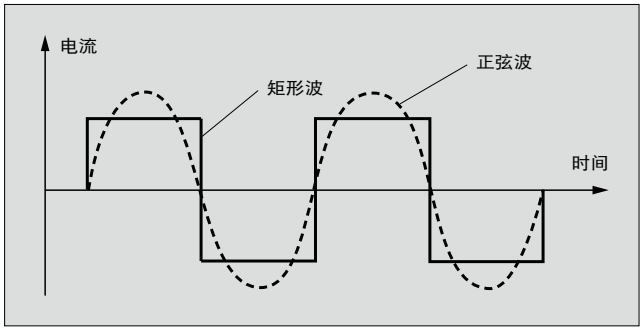

图 4　输入电流的波形模式图

矩形波更低的电源高次谐波电流。

3．2　轻负载时的高效率（底部跳过功能）

在电感电流变为零后再启动 MOSFET 的临界电流运行的 PFC 电路中，低负荷时开关频率会增加。因此，存在 MOSFET 的开关损耗增加、效率变差的问题。

以往的第 3 代 FA1A00 系列搭载了底部跳过功能，改善了轻负载时的效率[1]。该功能在第 4 代 FA1B00 系列中的 FA1B20N 和 FA1B21N 中得到了应用。

图 5 是重负载时（底部跳过未运行）和轻负载时（底部跳过运行）的开关动作。

不运行底部跳过时，轻负载时运行频率增加的机制如下。

(a)　负载变轻。

(b)　IC 进入缩短 MOSFET 的导通期间的控制。

(c)　由于导通期间短，因此关断后 MOSFET V_{DS} 产生第 1 个底部之前的关断期间也变短。

(d)　由于导通期间和关断期间同时变短，因此频率增加。

另一方面，底部跳过功能在轻负载时抑制运行频率的机制如下。

(a)　负载变轻。

(b)　IC 进入缩短 MOSFET 的导通期间的控制。

(c)　由于导通期间短，因此关断后 MOSFET V_{DS} 产生第 1 个底部之前的关断期间也变短。导通期间和关断期间之和在固定值以下时，通过底部跳过功能，将 MOSFET 的开通时机从第 1 个底部延迟到了第 2 个底部。

(d)　与该功能未运行时相比，由于关断期间长，频率增加得到了抑制。

通过抑制频率增加可减少开关损耗，因此可提高轻负载时的效率。另外，MOSFET 的发热也变少，可缩小散热用的散热器并降低电源成本。

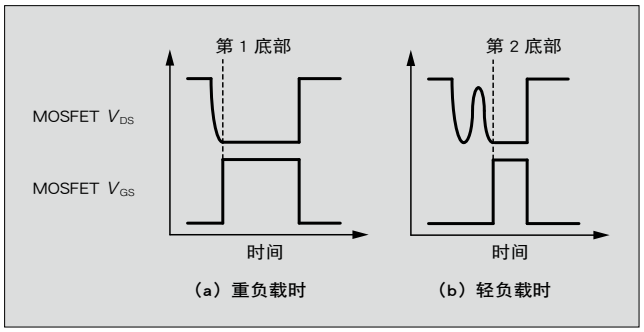

图 5　底部跳过运行

3．3　待机时的高效率（脉冲串功能）

以更轻的负载待机时，PFC 电路的开关损耗占整体损耗的比例较高。因此，一般是切断 PFC 控制 IC 的供电，令开关停止来削减待机电力。但是，PFC 输出电压和输入电压存在密切的依赖关系。因此，后段的 LLC 转换器的待机时效率变差。另外，还需要有用于切断供电的外部电路零部件，这样就会导致电源基板空间和成本的增加。

富士电机为了解决该问题，在“FA1A60N”中应用了脉冲串功能，即待机时在运行 PFC 控制 IC 的同时改善效率，并实现了产品化。在 FA1A60N 中，由 RT 端子接收来自 LLC 转换器控制 IC FA6B20N 的通信信号输入，对待机进行识别[2]。

FA1B00 系列改变了通信功能的信号输入极性，减少了通信功能所需要的外部零部件数目。

轻负载或重负载时，如**图 3** 所示，根据对输入到 FB 端子的输出电压进行监控的分压电阻（R1，R2）的电压，在 IC 内部进行误差放大，对 OUT 端子的输出脉冲宽度进行控制，将 PFC 输出电压保持在固定值。

待机时，通过脉冲串功能，如**图 6** 所示，当输出电压达到一定范围以上时停止开关，回落到一定范围以下时，重新开始开关。通过这样的控制来提高待机时的效率。

3．4　2 种开通时机检测方式

如**图 7** 所示，FA1B00 系列为了支持检测 MOSFET 开通时机的 2 种方式，在 FA1B20N 和 FA1B21N 中采用

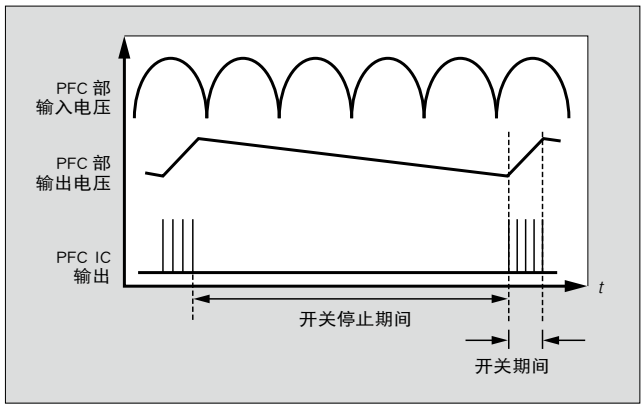

图 6　脉冲串功能运行

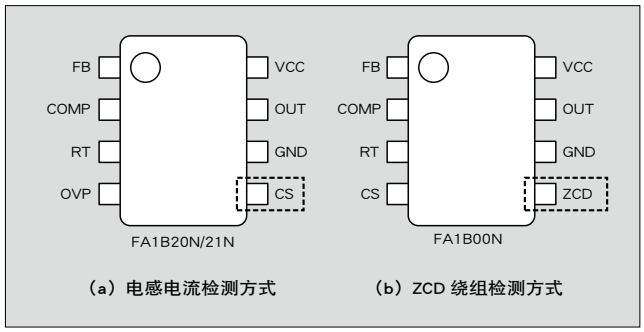

图 7　2 种检测方式对应的端子排列

了电感电流检测方式，在 FA1B00N 中采用了 ZCD 绕组检测方式。

4 对电源装置的适用效果

图 8 是搭载了 FA1B00 系列的评估用应用电路（电感电流检测方式）。

图 9 是不同控制方式下电源运行的波形。**图 9**(a)是使用 FA1B21N 和传统方式的约 1/10 的 15 μF 输出电容器，采用新控制方式（输入电流：梯形波）时的波形。**图 9**(b)是使用了 FA1A20N 和 165 μF 输出电容器，采用以往的控制方式（输入电流：正弦波）时的波形。FA1B21N 将控制方式变更为输入电流梯形波状控制方式后，没有出现开关动作的不稳定或输入电流的紊乱，实现了和传统方式相同的稳定运行。另外，后述评估结果的测定条件是输入电压 AC100 V、负载电力 200 W。

另外，如**图 10** 所示，新方式的输出电压纹波在所有输入电压范围都确认了为传统方式的 70%。并且，**表 3** 所示的基本特性也不存在效率或功率因数的差异，**图 11** 所示的电源高次谐波电流特性相对于等级 D 的规定值，也保证了 30% 以上的余量，这表明输入电流梯形波状控制方式是一种有效的 PFC 输出电容器小型化手段。

举个例子，假如传统方式 1.4 倍的纹波电压也要满足电源规格的话，输出电容器的容量将减半，可实现电源基板的空间节省和成本降低。

另外，对于从传统机型继承而来的底部跳过功能和脉冲串功能，在搭载了 FA1B20N 的电源中也确认了轻负载效率和待机电力特性，确认保持了和传统机型同等的高效特性。**图 12** 是待机电力特性。

另外，虽然这些电源特性是通过电感电流检测开通时机

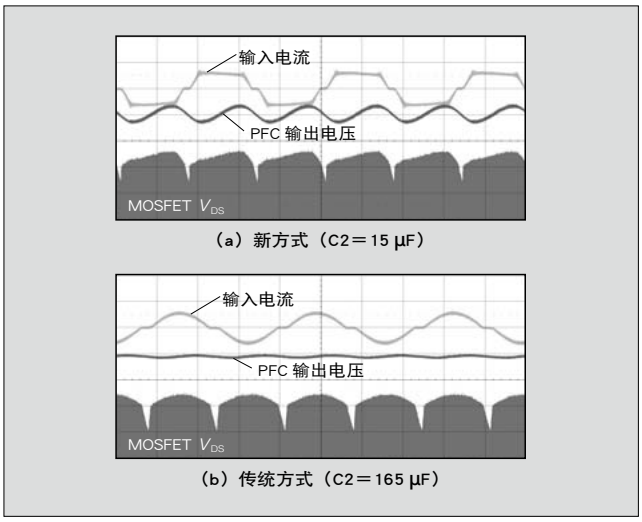

图 9　电源运行时的输入电流波形

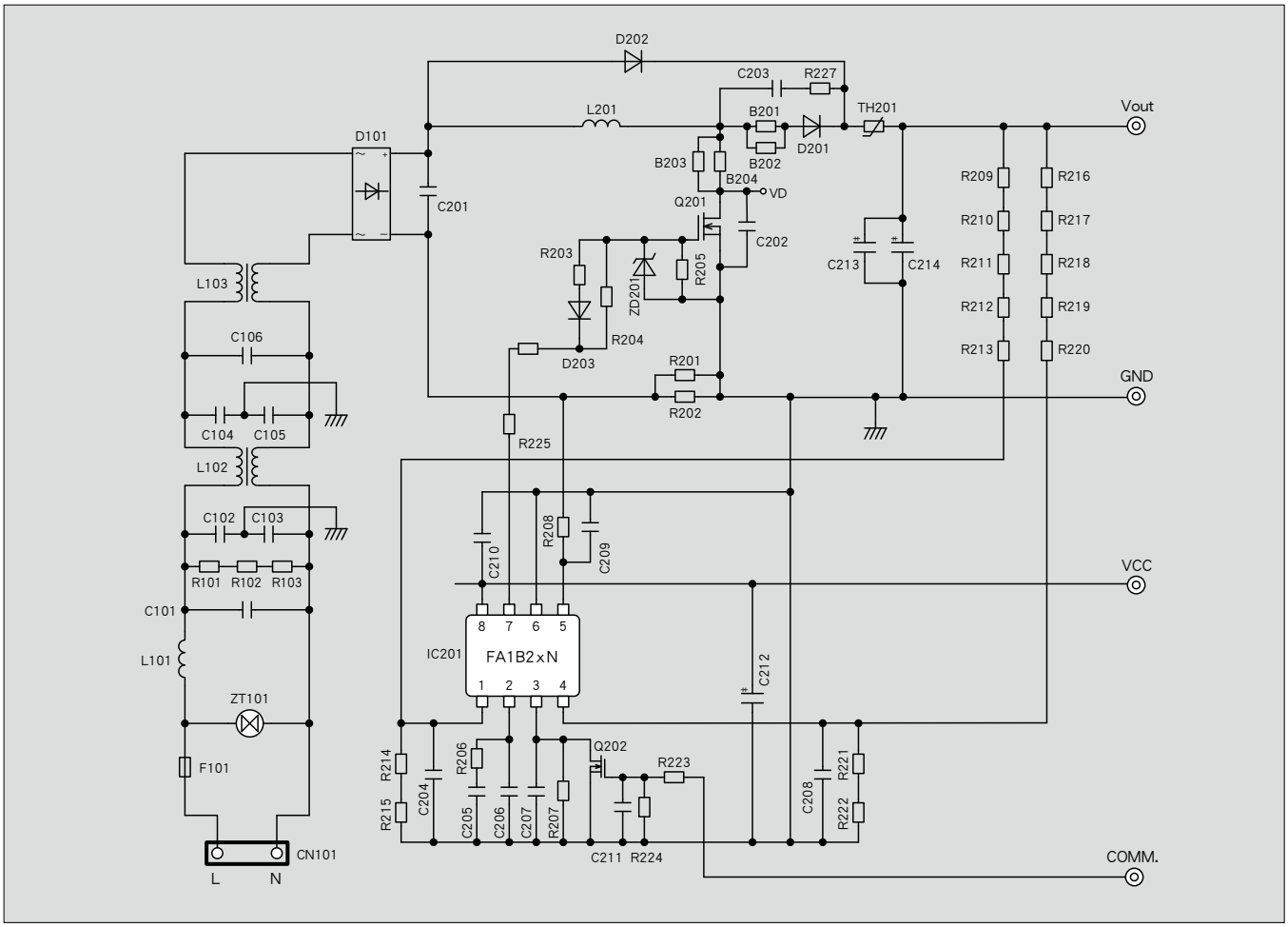

图 8　评估用应用电路（输入：90～264 Vac，输出：400 V/200 W）

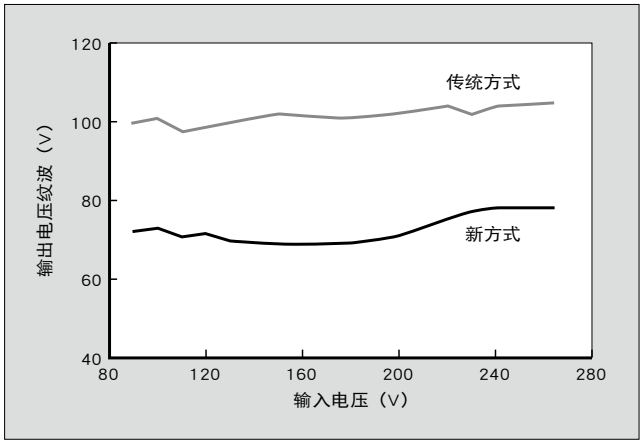

图 10　输出电压纹波比较（C2 ＝ 15μF）

表 3　基本特性的控制方式比较

方式	效率（%）		功率因数（—）	
	AC100 V	AC230 V	AC100 V	AC230 V
新方式	86.6	90.3	0.978	0.940
传统方式	86.6	89.6	0.986	0.940

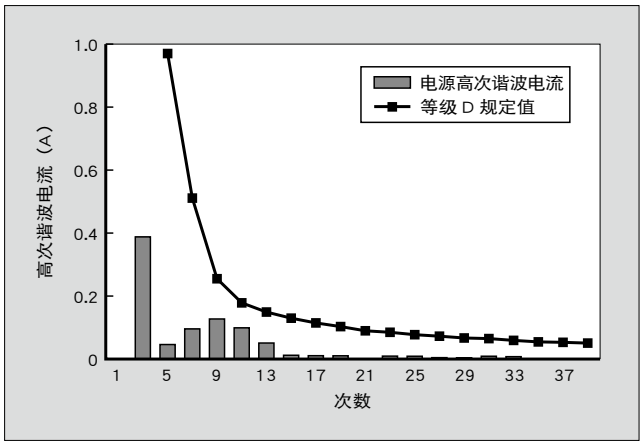

图 11　电源高次谐波电流特性（C2 ＝ 15μF）

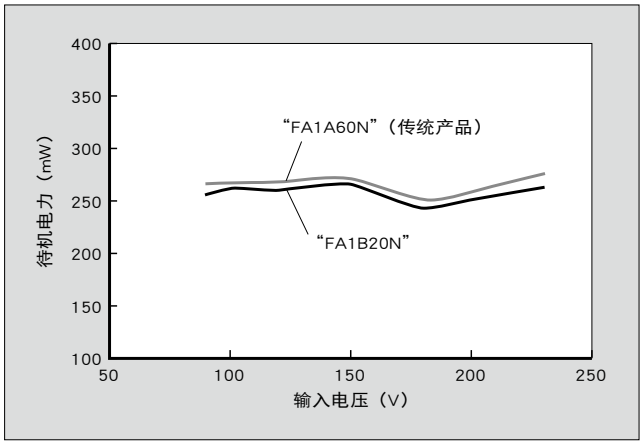

图 12　待机电力特性（负载：125 mW）

的 FA1B20N 的结果，但在以 ZCD 绕组检测的 FA1B00N 也确认了良好的电源特性。

电源规格重视轻负载时的效率，或需要减少检测电感电流的辅助绕组从而降低成本时，可选择 FA1B20N 或 FA1B21N。此外，电源规格重视轻负载时的功率因数，或需要通过电感器的辅助绕组检测高精度的开通时机、进一步降低功率元件的开关损耗时，则选择 FA1B00N。如此便能够根据开通时机检测方式的不同进行选择。

5　后记

以上对第 4 代临界模式 PFC 控制 IC“FA1B00 系列”进行了说明。临界模式 PFC 控制 IC，要求实现高功率因数、高效电源特性以及低成本。

今后，富士电机也将继续对适应各类市场需求的功能进行系列化，同时不断提供控制或功能更加优秀的产品。

参考文献

⑴　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.

⑵　园部孝二等. 高效电源用临界模式 PFC 控制 IC“FA1A60N”和 LLC 电流谐振控制 IC“FA6B20N”. 富士电机技术期刊. 2017, vol.C9, no.1, p.49-54.

远藤　勇太

从事开关电源控制 IC 的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部产业事业部产业分立器件部。

矢口　幸宏

从事开关电源控制 IC 的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部产业事业部产业分立器件部。

日朝　信行

从事开关电源控制 IC 的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部产业事业部产业分立器件部。

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。