第 4 代临界模式 PFC 控制 IC “FA1B00N”

“FA1B00N” 4th-Generation Critical Conduction Mode Power Factor Correction Control IC

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

近年来，随着电子设备的小型化和轻量化，开关电源的普及不断扩大，不仅要实现 LED 照明等电子设备的长寿命化与低价格化，同时还要求设备具备高可靠性、能降低电源成本。为了满足这些要求，富士电机开发了第 4 代临界模式 PFC（Power Factor Correction）控制 IC “FA1B00N”。除了传统产品的原有功能，新开发产品通过追加启动时的过冲减少功能等保护功能及提高 PFC 输出电压和过电压检测电压的精度，提高了电子设备的可靠性，降低了电源成本。

As electronic devices become smaller and lighter, switching power supplies are becoming more widely used and are required to help electronic devices, such as LED lighting, to have a long life, low price, and high reliability while reducing power supply costs. To meet these demands, Fuji Electric developed the “FA1B00N” 4th-generation critical conduction mode (CRM) power factor correction (PFC) control IC. In addition to the conventional model’s functions, this IC features a startup overshoot reduction and other protective functions, as well as higher accurate detection for PFC output voltage and overvoltage. These enhancements enable it to improve the reliability of electronic devices and reduce power supply costs.

1　引言

随着电子设备的小型化和轻量化，开关电源的普及不断推进。开关电源中的高次谐波电流会造成设备或配线电设备的运行故障或功率因数低下，表观功率增加。因此，为了将高次谐波电流控制在一定值以下，在国际标准 IEC 61000-3-2 中，如**表 1** 所示，将电气电子设备分为 4 个等级，按等级设置了电源高次谐波电流的限值。

为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。

在 PFC 电路中，为了省电，要求削减待机电力，提高包括轻负载在内的广泛负载区域的效率[1]。

此外，近年来，受到消费者对 LED 照明等电子设备的长寿命化和低价格化的期待和要求，在 PFC 电路中也要求同时实现高可靠性和削减电源成本。

为满足这些要求，富士电机量产了满足高次谐波电流限制等级 C 的 LED 照明用临界模式 PFC 控制 IC “FA5601N”。为继承该 IC 的特点，进一步强化保护功能，开发出了有助于降低电源成本的第 4 代临界模式[注]PFC 控制 IC “FA1B00N”。

表 1　高次谐波电流规定（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

〈注〉临界模式：流经电感器的电流为 0 A 时导通 MOSFET 的动作模式

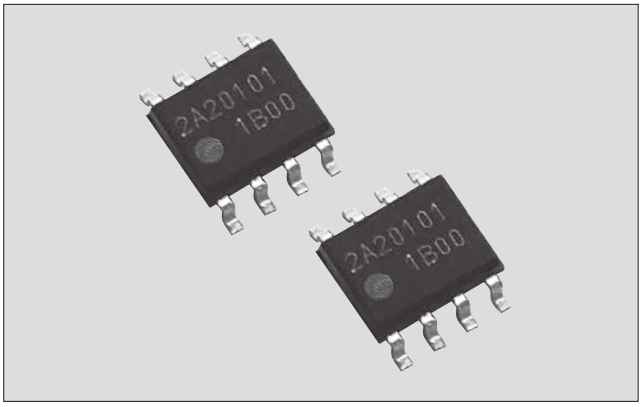

图 1　“FA1B00N”

2　“FA1B00N” 概要

此次开发的 FA1B00N 的外观如**图 1** 所示，与传统产品 FA5601N 的性能比较如**表 2** 所示。

FA1B00N 的框图如**图 2** 所示。通过沿袭端子排列及基本功能，FA1B00N 可从 FA5601N 进行置换，因此可缩短设计电源时的前置时间。

在传统产品原有功能的基础上，增加了启动时的过冲减少功能、PFC 输出电压降低抑制功能和 V_{CC} 电压的过电压保护功能。此外，还提高了 PFC 输出电压控制的基准电压 V_{fb} 的精度及过电流检测电压的精度。通过增加这些功能、提高精度，降低了电源成本，提高了可靠性。

2.1　动作说明（导通宽度固定控制）

FA1B00N 是利用自激振荡进行临界动作的 PFC 控制 IC。**图 3** 所示为动作电路示意图，**图 4** 所示为开关动作中各单元的波形[2]。

表 2　与传统产品的性能比较

项目	FA1B00N	FA5601N
开通时机检测	ZCD* 绕组	ZCD 绕组
控制方式	导通宽度固定控制	导通宽度固定控制
启动时过冲减少功能	有	无
PFC 输出电压降低抑制功能	有	无

项目	FA1B00N	FA5601N
V_{CC} 电压过电压保护	有	无
V_{fb} 基准电压	2.5 V±1.0%	2.5 V±1.4%
过电流检测电压	0.65 V±2.0%	0.65 V±3.1%
轻负载时开关运行	最大振荡频率限制	最大振荡频率限制

★ ZCD： Zero Current Detection

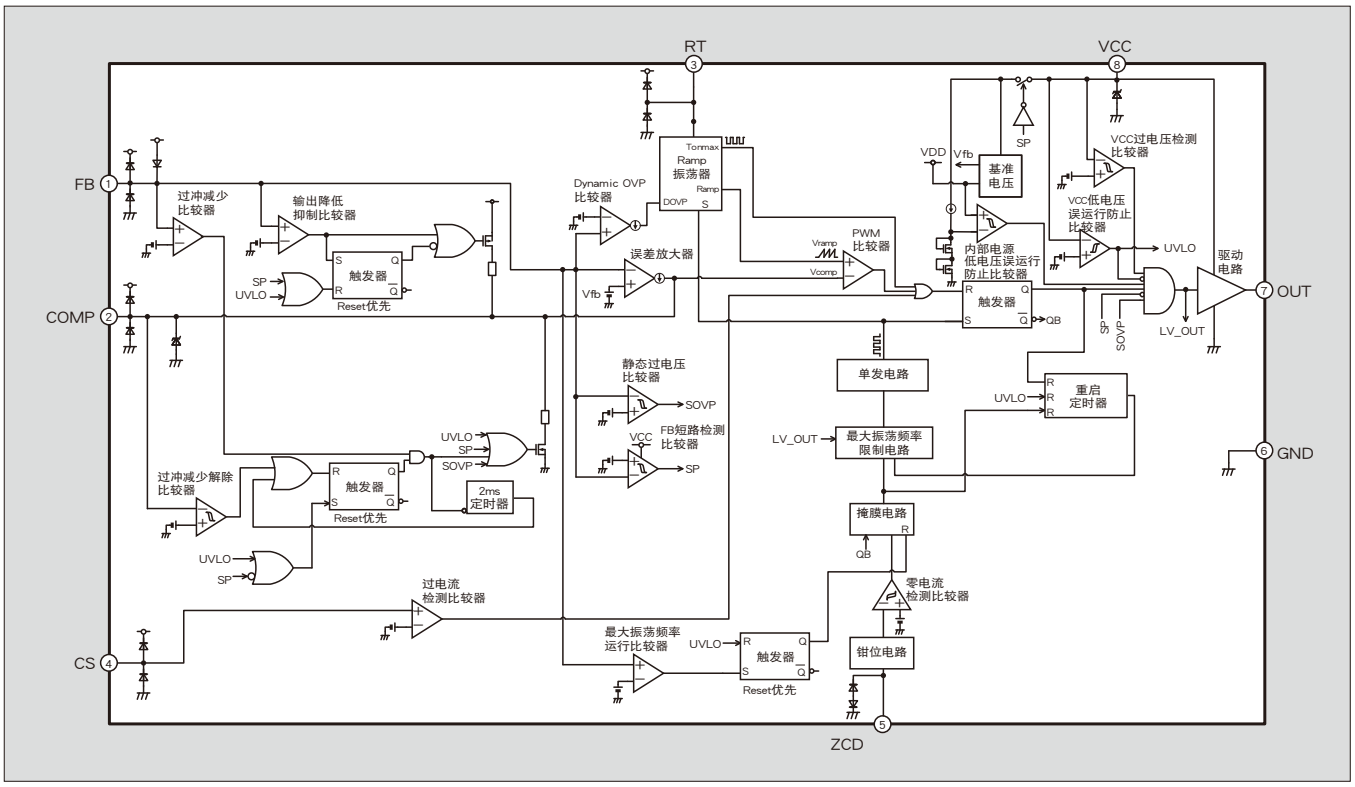

图 2　“FA1B00N”的框图

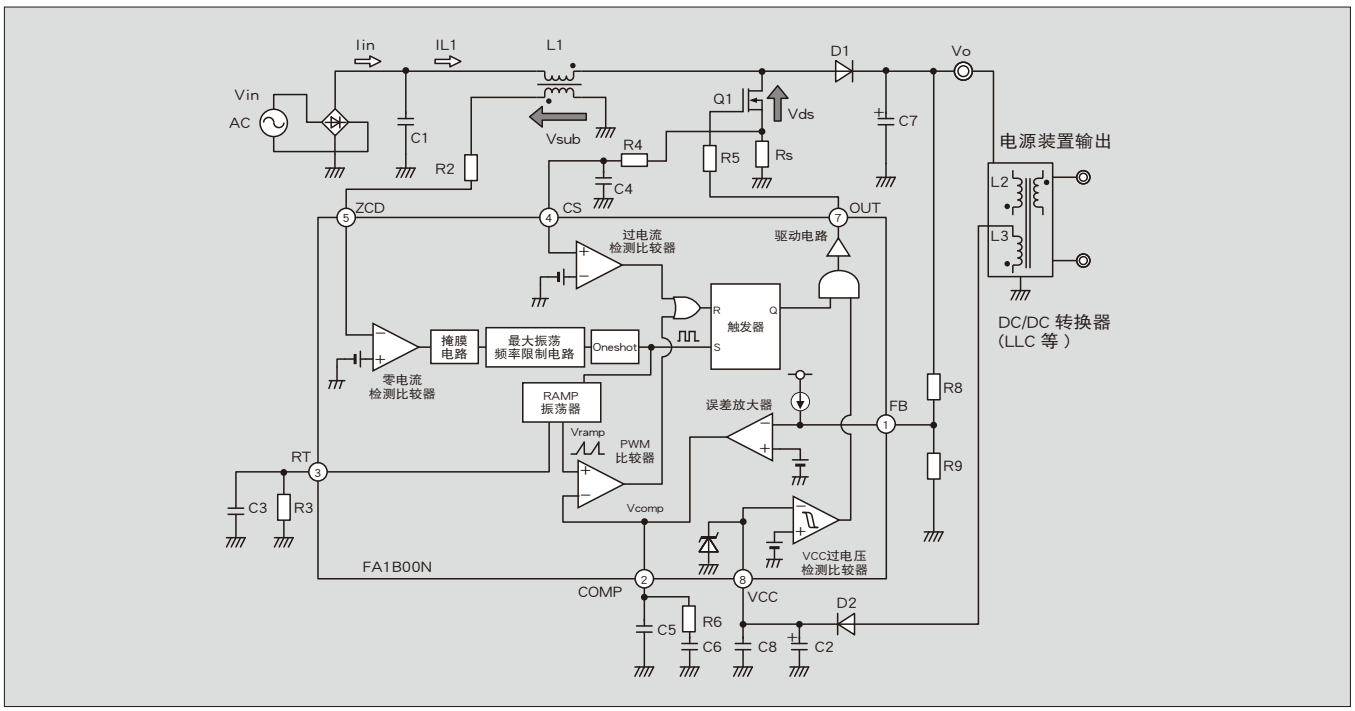

图 3　动作电路示意图

在**图 4** 的时刻 t_1，当 MOSFET（Q_1）导通时，电感器（L_1）的电流 I_{L1} 从零上升。同时，IC 内部的 RAMP 振荡器的输出 V_{ramp} 以 RT 端子的电阻 R_3 决定的斜率上升。

在时刻 t_2，PWM 比较器（PWM comp.）将 V_{ramp} 和误差放大器的输出即误差增幅电压 V_{comp} 进行比较，在 $V_{ramp} > V_{comp}$ 下关断 Q_1。Q_1 关断时，I_{L1} 翻转，通过升压二极管（D_1）给输出侧供应电流，同时 I_{L1} 减少，辅助绕组的电压 V_{sub} 也翻转，产生正电压。

在时刻 t_3，当 I_{L1} 完全恢复为零时，Q_1 的漏极 – 源极电压 V_{ds} 与 Q_1 的漏极 – 源极之间的寄生电容发生谐振，急剧降低。同时，V_{sub} 也急剧降低。

在时刻 t_4，零电流检测比较器检测 V_{sub} 变成零电流检测电压以下的时机，导通 Q_1。通过重复该动作，IC 进行临界动作。

在上述动作中，在 PFC 电路负载一定的情况下，V_{comp} 一定，所以导通宽度也一定。此时，电感器的峰值电流由式(1)给出。

$$I_{max} = \frac{V_{in}}{L} \times T_{on} \quad \cdots\cdots(1)$$

I_{max} ：L_1 的峰值电流
V_{in} ：输入电压
L ：L_1 的电感值
T_{on} ：导通宽度

在式(1)中，L、T_{on} 一定，所以 L_1 的峰值电流与 V_{in} 成正比，其波形为与输入电压相同的 AC 波形。通过该动作，可改善功率因数。

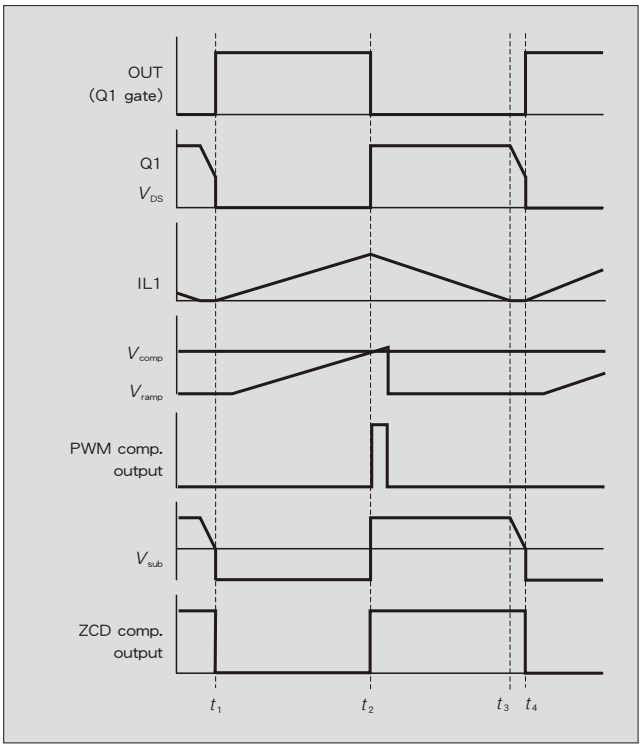

图 4　开关动作的各单元波形

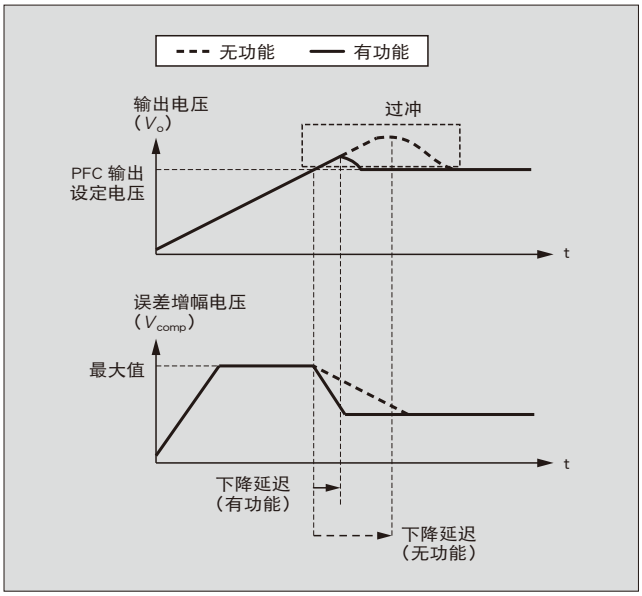

图 5　过冲减少功能的动作波形

3　特点

3.1　过冲减少功能

在 PFC 电路中，会发生具有 AC 输入电压的频率分量的输出电压纹波。为了降低该输出电压纹波对 PFC 控制 IC 动作造成的影响，通常会增大与 COMP 端子连接的电容器容量。但是，如果电容器容量变大，则启动时的 V_{comp} 响应会产生延迟，PFC 电路的输出电压上升，发生过冲。

另外，为降低电源成本，与 PFC 电路的输出连接的电解电容器的额定电压（耐压）大多无法确保对 PFC 电路输出设定电压的足够耐压余量。因此，启动时 PFC 电路的输出电压会过冲到电解电容器的额定电压附近，可能缩短电解电容器的寿命，甚至导致电解电容器被破坏。

为解决这一问题，FA1B00N 内置了启动时降低 PFC 电路输出电压过冲的功能[3]。**图 5** 所示为该功能的动作波形。

V_{comp} 越高，PFC 控制 IC 给 PFC 电路的输出供应电力越大。启动时，为了使 PFC 电路的输出电压上升至设定电压，需要较大的电力，所以 V_{comp} 会上升至最大值。但是，即使 PFC 电路的输出电压达到设定值，由于与 COMP 端子连接的电容器的影响，V_{comp} 的下降也会延迟。因此，过度供给电力，PFC 电路的输出电压就会发生过冲。为此，FA1B00N 在启动时，当 PFC 输出电压达到设定电压值，通过暂时降低 V_{comp} 来解除电力的过剩状态，降低启动时的过冲。这样，可安全地使用耐压余量小的电解电容器，从而降低电源成本。

3.2　PFC 电路的输出电压降低抑制功能

为降低电源的成本，需要减小与 PFC 电路输出相连的电解电容器的容量。但是，在电解电容器容量小的情况下，如果与 PFC 电路的后段相接的 DC/DC 转换器的负载急剧增加，则 PFC 电路的输出电压会大幅降低。**图 6**(a)所示为传统产品的动作波形。如果 PFC 电路的输出电压下降，则

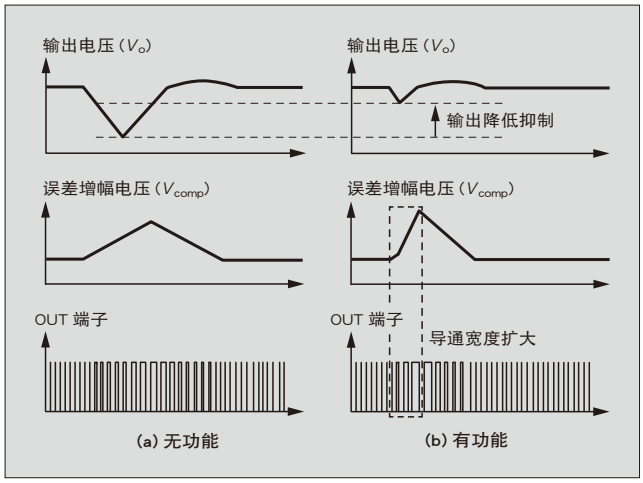

图 6　PFC 输出降低抑制功能的动作波形

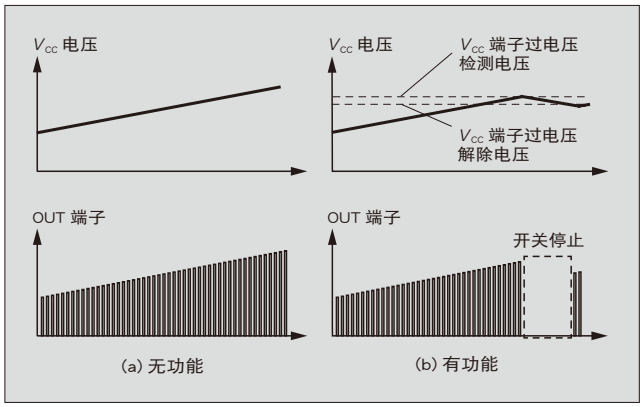

图 7　V_{CC} 电压的过电压保护功能的动作波形

V_{comp} 上升，使输出电压上升至设定电压值。但是，如果与 COMP 端子连接的电容器容量大，则 V_{comp} 的响应会延迟，所以输出电压会下降。如果该输出电压低于 DC/DC 转换器的最低输入电压，则 DC/DC 转换器可能会停止，无法向负载供电。

为此，FA1B00N 内置了抑制 PFC 电路输出电压下降的功能。**图 6**(b)所示为该功能的动作波形。

在 FA1B00N 中，如果 PFC 电路的输出电压低于 PFC 输出电压下降抑制阈值，则强制提高 V_{comp}，扩大 OUT 端子的导通宽度，增加电力供给量，以此抑制 PFC 电路输出电压的下降。因此，可向后段的 DC/DC 转换器供应稳定的输出电压。此外，因为可使用容量小的电解电容器，所以能降低电源成本。

3. 3　V_{CC} 电压的过电压保护功能

给 PFC 控制 IC 的 VCC 端子供应电压时，通常使用变压器的辅助绕组（L_3）使 AC 输入电压降压，用二极管对辅助绕组中产生的电压进行整流，用电容器使之平稳后再进行供应。采用这种方式，在因过载等导致电源输出电流增大的情况下，与 VCC 端子相连的 IC 内部的电路和 MOSFET 可能受损。因此，有时为了保护而连接齐纳二极管。

如**图 7** 所示，FA1B00N 内置保护 MOSFET 免受过电压破坏的功能，当 VCC 端子电压达到 V_{CC} 过电压检测电压时，即停止 OUT 端子的开关动作。使用该功能，无需用于保护与 VCC 端子连接的 IC 内部电路和 MOSFET 栅极的齐纳二极管，从而降低了电源成本。

除此类保护功能之外，还提高了 PFC 电路输出电压控制的基准电压的精度。这样，PFC 电路输出电压的上限值

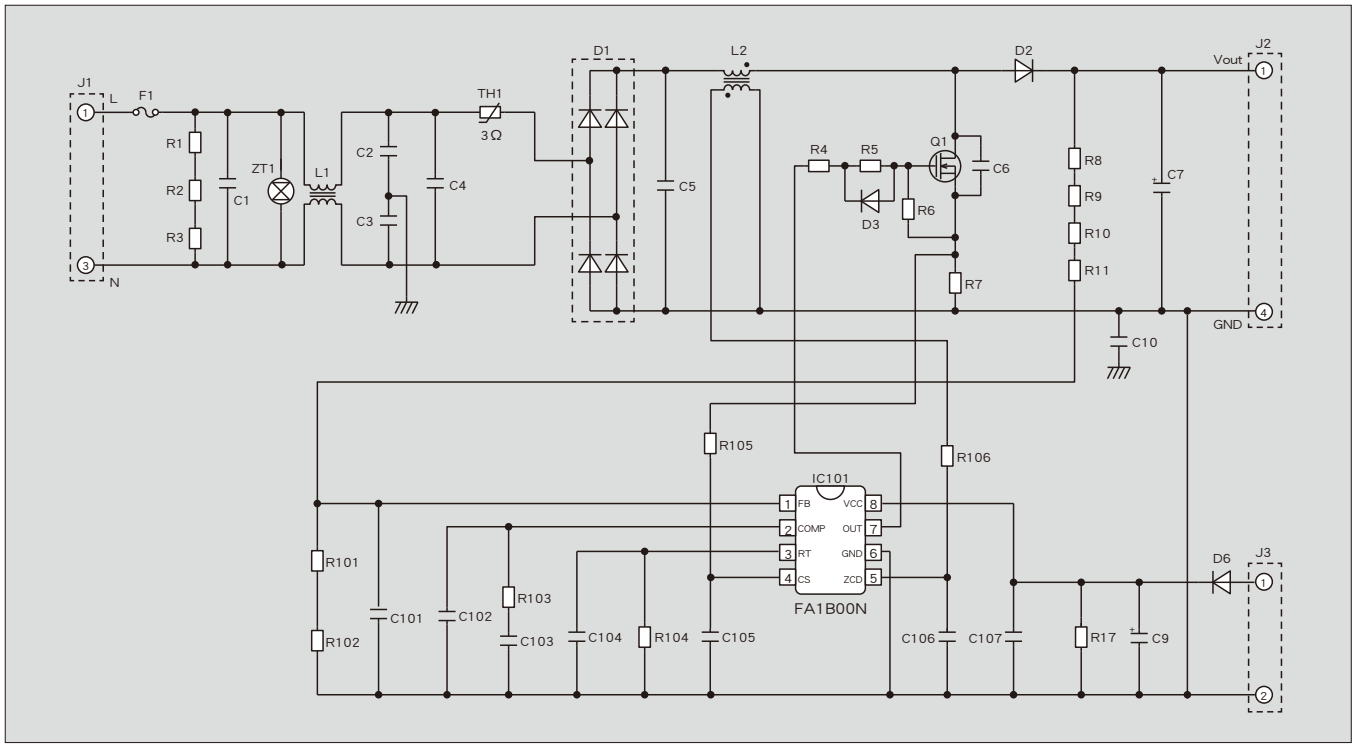

图 8　应用电路例

下降，与 PFC 电路相连的电解电容器的耐压余量比传统产品大，可防止电解电容器的破坏。

同时，还提高了流经 MOSFET 的过电流的检测精度。结果，在发生过电流时可通过立即关断 MOSFET 来限制过电流，从而防止 MOSFET 等电源部件的破坏，提高电源的可靠性。

3. 4　轻负载时的高效化（最大振荡频率限制）

在临界动作中，因轻负载时开关频率增加，所以存在 MOSFET 的开关损耗增加、效率降低的问题。

为改善轻负载时的效率，FA1B00N 与传统产品 FA5601N 相同，具有最大振荡频率限制功能。轻负载时，一旦开关频率达到取决于 RT 端子电阻的最大振荡频率 F_{max} 以上，即使检测出电感电流为零的时机，也会以慢于 1/F_{max} 的周期进行导通。通过该最大振荡频率限制功能，可抑制开关频率的增加，所以开关损耗减少，轻负载时的效率提高。而且，因为 MOSFET 的发热减少、散热用散热器变小，所以有助于降低电源成本。

4　应用电路例

图 8 所示为假定为 LED 照明时的 PFC 电路的应用电路示例（输入 90 ～ 264 V、输出 390 V、150 W）。

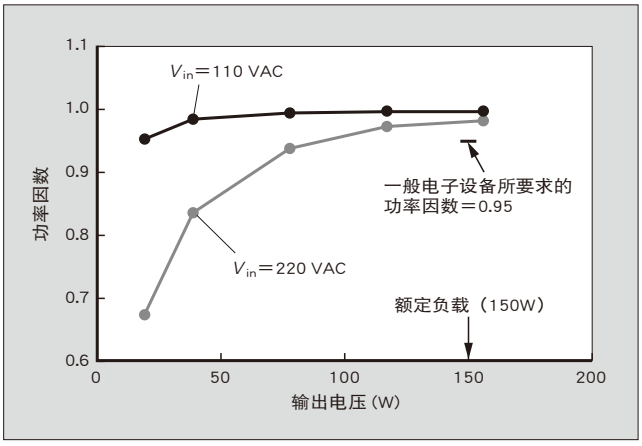

图 9　功率因数特性

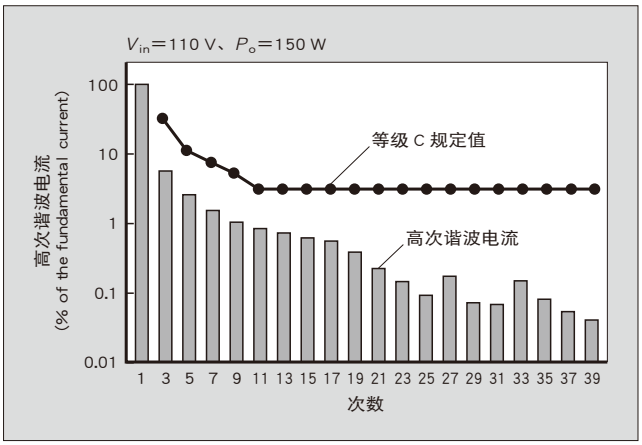

图 10　高次谐波电流特性

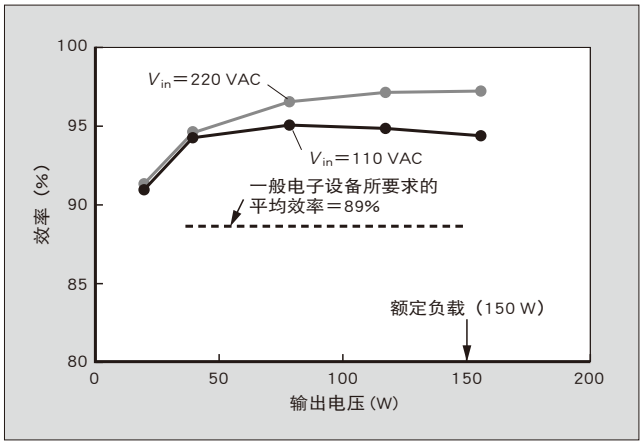

图 11　效率特性

如**图 9** 所示，在标准输入电压（110 V、220 V）且额定负载（150 W）下，确保了一般电子设备所需的功率因数在 0.95 以上。

如**图 10** 所示，高次谐波电流特性满足了照明设备所需的国际标准 IEC 61000-3-2 的等级 C。

如**图 11** 所示，标准输入电压（110 V、220 V）的平均效率（负载为 25%、50%、75%、100% 时效率的平均值）确保了一般电子设备所需的 89% 以上。

5　后记

以上，对第 4 代临界模式 PFC 控制 IC “FA1B00N”进行了介绍。通过本 IC，可削减待机电力、提高包括轻负载在内的广泛负载区域的效率、提高可靠性、降低电源成本。

今后，富士电机仍将继续提供可进一步降低待机电力和高效化的同时，还能削减电源部件的产品。

参考文献

⑴　日朝信行等. 第 4 代临界模式 PFC 控制 IC “FA1B00 系列”. 富士电机技术期刊. 2019, vol.C11, no.1, p.37-41.
⑵　菅原敬人ほか. 第 2 世代臨界モード PFC 制御 IC「FA5590 シリーズ」. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.405-410.
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.

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。

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。

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。