

电流谐振IC

FA6C21N

Datasheet

1. 概述

FA6C21N为LLC电流谐振电路的开关电源控制用IC。IC采用数字控制，可提高轻负载效率、实现高速响应、增强保护功能并减少外部零件。

内置有绝对最大输入电压为600V的启动电路，可实现电路简化和低功耗。输出端内置有750V的上管驱动器，可直接驱动上管和下管的MOSFET。

提供防止进入容性区间功能、高精度过载保护功能和过电流保护功能，以确保电源的高可靠性。

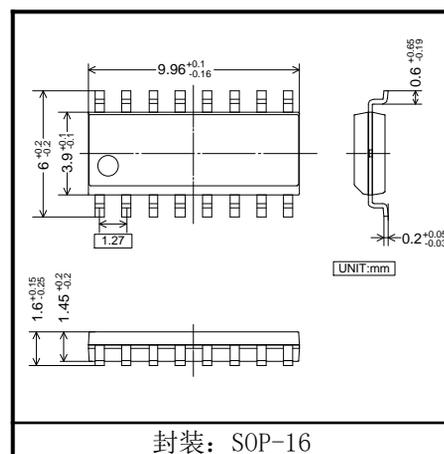
另外，通过工作模式切换实现了低待机工作，可减少用于待机的外部辅助电源。通过状态设定功能，可选择工作模式切换为自动切换方式与外部切换方式。

与临界模式控制IC“FA1B20N”组合后，可通过FA6C21N控制PFC电路的工作模式（连续、间歇和停止），提高电源效率，优化PFC工作并减少零件数量。

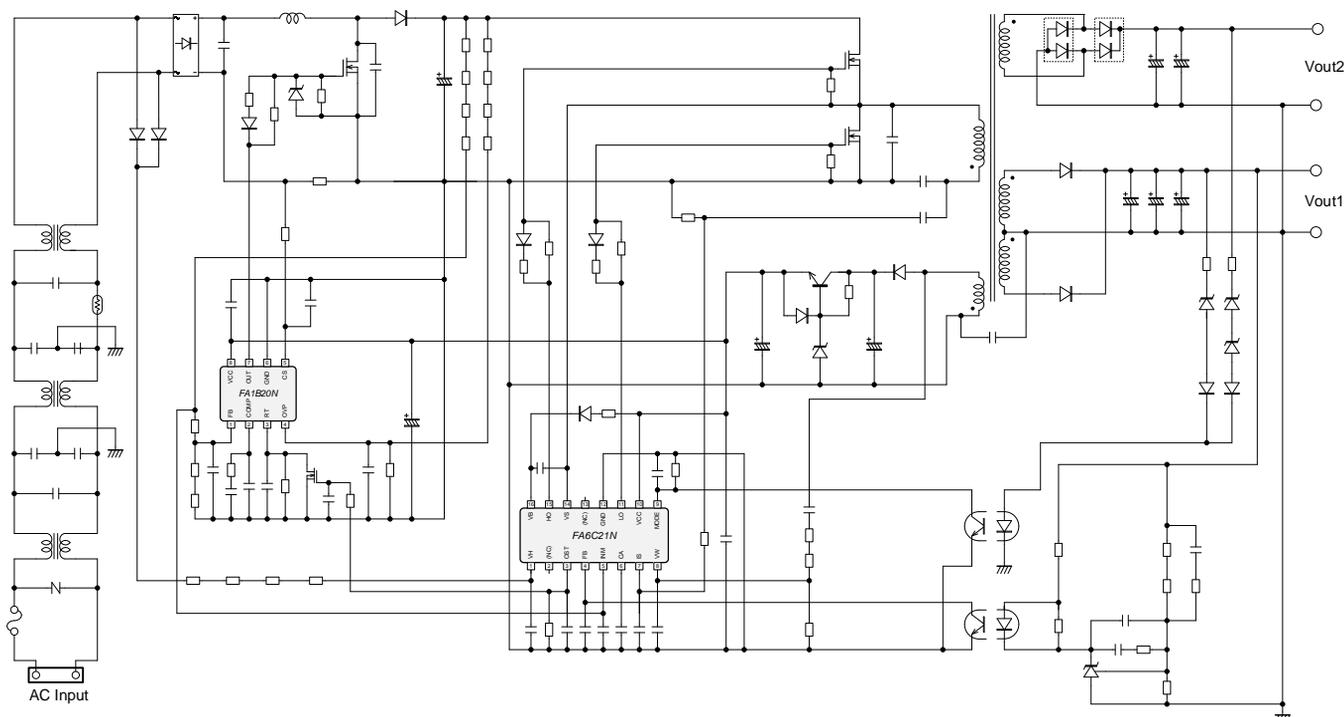
采用了16引脚的小型封装，使电源实现小空间和高性价比的完美结合。

2. 特征

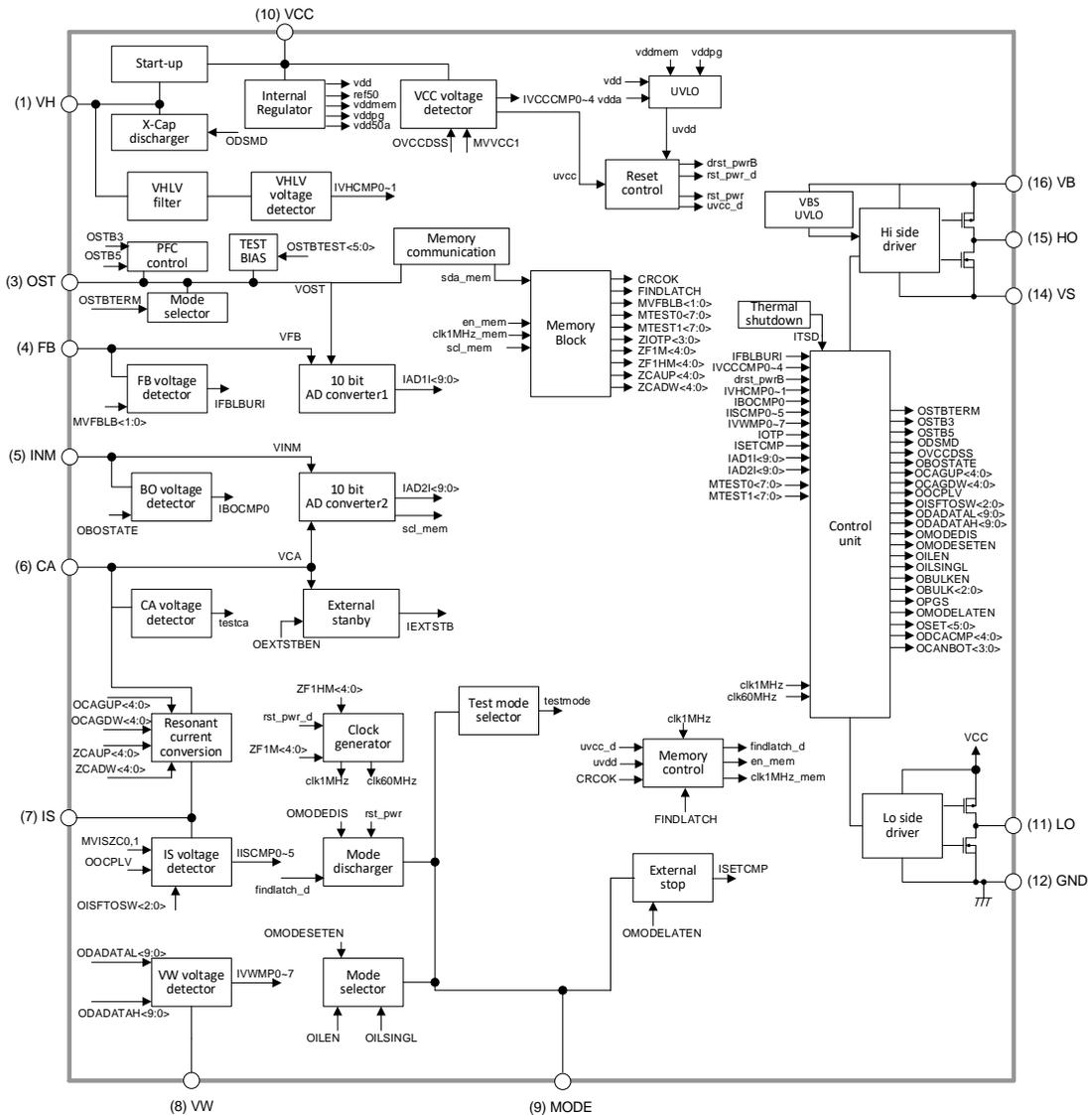
- 通过数字控制实现了最佳电源控制
- 通过内置启动电路实现了电源电路的小型化和低功耗
- 内置正常工作模式和低待机模式两种工作模式
- 模式切换可选择“自动切换方式”和“外部切换方式”
- 低待机模式期间，通过突发工作实现低待机功率
- 提高轻负载效率并降低变压器噪音
- 内置输入滤波器X电容放电功能，降低放电电阻导致的损耗
- 采用富士电机株式会社独有的控制方式，实现了高速响应
- 内置可直接驱动功率MOSFET的上管和下管驱动电路
- 由于IC内部自动设定死区时间，因此可防止进入容性区间和防止硬开关
- 内置过电流（IS引脚）、过载（CA引脚、FB引脚）、过电压（VCC引脚）、过热、外部异常信号输入（MODE引脚）的各种保护功能
- 内置Brown-In/Out功能（VH引脚、INM引脚）
- 可选择OST引脚、MODE引脚的各种功能（状态设定功能）
- 内置欠压锁定功能（VCC引脚、上管驱动器）
- ESD耐压所有引脚HBM±2kV
- 封装：SOP-16（符合JEDEC）



3. 应用电路示例 (FA1B20N + FA6C21N)



4. 方框图



5. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	I/O	描述	注
1	VH	I	高压输入（启动电路、VH引脚BI/BO、X电容放电）	*1,*2
2	(NC)	-		*3
3	OST	I/O	PFC互连信号输出、状态设定	*1,*2
4	FB	I	反馈输入、OLP	*1
5	INM	I	输入电压检测	*1,*2
6	CA	I/O	平均输入电流检测（工作模式切换、OLP）、外部待机信号输入	*1,*2
7	IS	I	输入电流检测（防止进入容性区间检测、OCP）	*1,*2
8	VW	I	辅助绕组电压检测（防止进入容性区间检测、死区时间自动调整检测）	*1,*2
9	MODE	I/O	状态设定、外部异常输入	*1,*2
10	VCC	I/O	下管电源	*1
11	LO	O	下管输出	*2
12	GND	-	接地	-
13	(NC)	-		*3
14	VS	I	上管基准电位	-
15	HO	O	上管输出	*2
16	VB	I	上管电源输入	*1

*1.连接电容

*2.连接电阻

*3.2号引脚和13号引脚位于高压引脚附近，因此未使用，视为NC引脚。

6. 额定值与特征

超过绝对最大额定值时，可能导致故障或元件损坏。

电流规定中，+表示灌电流、-表示拉电流。

(1)绝对最大额定值

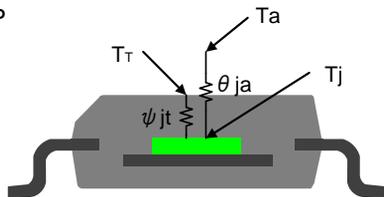
引脚名称	项目	符号	值	单位
VB	上管电源对地电压	V_B	-0.3 to 780	V
VB	上管电源对地电流 (开关停止时)	I_B	0.1	mA
VS	上管电源偏置电压	V_S	V_B-30 to $V_B+0.3$	V
VS	上管电源偏置电流 (开关停止时)	I_S	0.1	mA
VB,VS	上管电源电压($V_{BS}=V_B-V_S$)	V_{BS}	-0.3 to 30	V
VB,VS	上管电源电流 (开关停止时)	I_{BS}	1.5	mA
HO	上管输出引脚电压	V_{HO}	$V_S-0.3$ to $V_B+0.3$	V
HO	上管输出引脚电流 *1 ($V_B-V_S=30V$ 、脉冲宽度 $<1\mu s$ 、1脉冲)	I_{HO}	-0.8/ 1.8	A
VCC	VCC引脚电压	V_{CC}	-0.3 to 40	V
VCC	VCC引脚电流 (开关停止时)	I_{CC}	3	mA
LO	下管输出引脚电压	V_{LO}	-0.3 to $V_{CC}+0.3$	V
LO	下管输出引脚电流 *1 ($V_{CC}=30V$ 、脉冲宽度 $<1\mu s$ 、1脉冲)	I_{LO}	-0.8 / 1.5	A
VS	最大允许偏置电源电压dv/dt	dV_S/dt	-50 to +50	kV/us
VS	负电压浪涌耐量 (脉冲宽度=0.1us、 $V_{BS}=10V$ 、 $V_{CC}=12V$)	$-V_S$	-30	V
VH	VH引脚输入电压	V_H	-0.3 to 600	V
VH	VH引脚输入电流	I_H	18	mA
OST	OST引脚输入电压	V_{OST}	-0.3 to +5.3	V
OST	OST引脚输入电流	I_{OST}	-200 to +100	uA
FB	FB引脚输入电压	V_{FB}	-0.3 to +5.3	V
FB	FB引脚输入电流	I_{FB}	-250 to +100	uA
CA	CA引脚输入电压	V_{CA}	-0.3 to +5.3	V
CA	CA引脚输入电流	I_{CA}	-0.1 to +2.0	mA
IS	IS引脚输入电压	V_{IS}	-5.3 to +5.3	V
IS	IS引脚输入电流	I_{IS}	-150 to +150	uA
VW	VW引脚输入电压	V_{VW}	-5.3 to +5.3	V
VW	VW引脚输入电流	I_{VW}	-150 to +150	uA
MODE	MODE引脚输入电压	V_{MODE}	-0.3 to +12	V
MODE	MODE引脚输入电流	I_{MODE}	-200 to +100	uA
INM	INM引脚输入电压	V_{INM}	-0.3 to 5.3	V
INM	INM引脚输入电流	I_{INM}	-100 to 100	uA
-	总功耗($T_a=25^\circ C$)	P_d	0.83	W
-	结至环境温度之间的热阻 *2	θ_{JA}	120	$^\circ C/W$
-	结至封装上部之间的热阻 *2	ψ_{JT}	4.5	$^\circ C/W$
-	工作结温	T_j	-40 to +150	$^\circ C$
-	存储温度	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ C$

*1.即使峰值电流在绝对最大额定值以内，在正常运行状态下，也可能超过IC的允许功耗、使用温度条件，因此，请仔细考虑电源电压和负载电流，并在总功耗、工作结温和推荐运行环境温度范围内使用该IC。

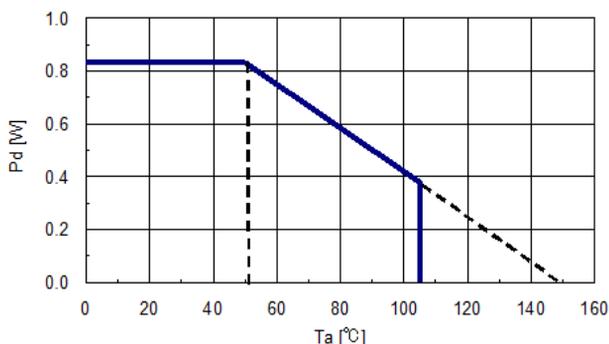
*2.JEDEC标准测试板

*3.运行时结温计算公式

$$T_j = T_T + \psi_{jt} \times P$$



Maximum power Dissipation



FA6C21N Datasheet
(2)推荐运行条件

推荐运行条件是保证产品正常运行的条件。如果在此条件之外使用，则可能对运行和可靠性产生负面影响。请充分确认您的产品后再使用。

项目	符号	最小	典型	最大	单位
上管电源对地电压	V_B	V_S+14	V_S+19	V_S+29	V
上管电源偏置电压 *1	V_S	-5	—	660	V
上管电源电压($V_{BS}=V_B-V_S$)	V_{BS}	14	19	29	V
上管输出电压	V_{HO}	V_S	—	V_B	V
上管电源引脚电容 *2	C_{VBS}	0.1	0.47	1	uF
下管电源电压	V_{CC}	14	19	27	V
下管输出电压	V_{LO}	0	—	V_{CC}	V
下管电源引脚电容 *3	C_{VCC}	10	22	47	uF
下管电源引脚旁路电容容量 *4	C_{VCC2}	0.1	—	—	uF
VH引脚输入电压	V_H	80	—	550	V
VH引脚输入电流（峰值）	I_{VH}	—	—	16	mA
VH引脚电阻	R_{VH}	2	10	40	kΩ
VH引脚电容	C_{VH}	—	—	470	pF
FB引脚电容	C_{FB}	470	1000	2200	pF
CA引脚电容（外部待机设定时）	C_{CAA}	47	100	200	nF
CA引脚电容（外部待机设定时）	C_{CAE}	10	22	47	nF
CA引脚电阻（自动待机、OLP=L电平设定时）	R_{CAA}	43	—	—	kΩ
CA引脚电阻（自动待机、OLP=H电平设定时）	R_{CAB}	390	—	—	kΩ
CA引脚电阻（外部待机设定时） *5	R_{CAC}	—	NC	—	Ω
CA引脚箝位电流（外部待机设定时）	$I_{CACL P}$	0.025	—	1.0	mA
VS引脚电容 *6	C_{VS}	100	220	470	pF
OST引脚状态电阻 *7	R_{OST00}	26.73	27	27.27	kΩ
	R_{OST01}	42.57	43	43.43	kΩ
	R_{OST02}	55.44	56	56.56	kΩ
	R_{OST03}	74.25	75	75.75	kΩ
	R_{OST04}	99.00	100	101	kΩ
	R_{OST05}	128.70	130	131.3	kΩ
	R_{OST06}	178.20	180	181.8	kΩ
	R_{OST07}	237.6	240	242.4	kΩ
	R_{OST08}	297.0	300	303.0	kΩ
	R_{OST09}	386.1	390	393.9	kΩ
	R_{OST10}	504.9	510	515.1	kΩ
	R_{OST11}	673.2	680	686.8	kΩ
	R_{OST12}	900.9	910	919.1	kΩ
OST引脚电容	C_{OST}	470	1000	1200	pF
MODE引脚状态设定电阻 *7	R_{MODE00}	81.2	82	82.8	kΩ
	R_{MODE01}	148.5	150	151.5	kΩ
	R_{MODE02}	237.6	240	242.4	kΩ
	R_{MODE03}	386.1	390	393.9	kΩ
MODE引脚电容	C_{MODE}	470	1000	1200	pF
外部谐振电感 *8	L_{RX}	—	0	—	uH
工作环境温度	T_a	-40	—	105	°C
工作频率	F_{SW}	50	—	150	kHz

*1.上管电源对地电压（VB引脚电压）VB必须大于10V。

*2.上管电源引脚电容用于自举电路。连接在VS和VB引脚之间。如果担心充电期间的浪涌电流，可通过电阻限制电流。

*3.电容值受启动特性及低待机模式工作时的待机功率影响，因此，请根据实际产品确定电容值。

*4.旁路电容必须连接至VCC引脚和GND引脚的附近。

*5.选择外部待机时，请不要连接CA端子的电阻。

*6.VS引脚电容可实现稳定运行，但是在电容过大会导致硬开关，因此，请根据实际产品确定电容值。

*7.OST引脚及MODE引脚使用误差为1%以内的电阻。

*8.谐振电感使用变压器的漏感。不建议增加外部谐振电感。

*9.VW绕组不能设在变压器的副边。请把VW绕组设在变压器的原边。

FA6C21N Datasheet
(3)电气的特性 (DC特性)

- 无特殊指定时，测定条件如下所示。另外，条件中描述的电压为DC输入，而非AC输入。
 $T_j = 25^\circ\text{C}$, $V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 19\text{V}$, $V_B = 19\text{V}$, $V_S = 0\text{V}$, $V_{FB} = 2.0\text{V}$, $V_{INM} = 2.6\text{V}$, CA引脚开路, $V_{IS} = 0\text{V}$, $V_{VW} = 0\text{V}$, $V_{OST} = 0\text{V}$, $V_{MODE} = 0.55\text{V}$, LO引脚开路, HO引脚开路。
- 标有“-”的栏无保证值。
- 表中“开关”所表示的运行行为HO及LO的开关输出。未记载HO或LO时，表示这两种开关输出。

(3)-1.高压输入 (VH引脚、VCC引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
VH引脚输入电流	I_{HRUN1}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} > V_{STOFF}$	8.0	11.5	15.0	μA
	I_{HRUN2}	$V_H = 400\text{V}$, $V_{CC} > V_{STOFF}$	16.8	24.0	31.2	μA
	I_{VH0}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 0\text{V}$	1.5	2.8	4.7	mA
	I_{VH6}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 6\text{V}$	6.6	9.5	12.4	mA
	I_{VH10}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 10\text{V}$	6.2	9.0	11.8	mA
	I_{VH16}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = V_{CCON} - 0.2\text{V}$, 状态设定完成后再充电	5.8	8.5	11.2	mA
	I_{VHTC}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{PRSTON} > V_{CC} > V_{STON}$	0.10	0.20	0.30	mA
VCC引脚充电电流	I_{PRE0}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 0\text{V}$	-4.7	-2.8	-1.5	mA
	I_{PRE6}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 6\text{V}$	-11.6	-8.5	-5.4	mA
	I_{PRE10}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 10\text{V}$	-11.0	-8.0	-5.0	mA
	I_{PRE16}	$V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = V_{CCON} - 0.2\text{V}$, 状态设定完成后再充电	-10.5	-7.5	-4.5	mA

(3)-2.下管电源 (VCC引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
工作开始电压	V_{CCON}	VCC上升时，开关启动点	15.0	16.0	17.0	V
工作停止电压	V_{CCOFF}	VCC下降时，LO/HO开关停止点	8.5	9.0	9.5	V
IC复位电压	V_{CCRST}	VCC下降时，IC复位	6.5	7.0	7.5	V
启动电流供给开始电压	V_{STON}	VCC下降时，启动元件ON的VCC电压	11.4	12.0	12.6	V
	V_{STONi}	VCC下降时，读取存储器前，状态设定期间	8.1	9.0	9.9	V
启动电流停止电压	V_{STOFF}	VCC上升时，启动元件OFF的VCC电压	12.3	13.0	13.7	V
	V_{STOFFi}	VCC上升时，读取存储器前，状态设定期间	8.7	10.0	11.3	V
	V_{STOFF1}	$= V_{CCONH}$	15.0	16.0	17.0	V
启动电流预偏置开始电压	V_{PRSTON}	VCC下降时，启动元件的预偏置ON的VCC电压	11.7	12.5	13.3	V
启动电流预偏置停止电压	V_{PRSTOF}	VCC上升时，启动元件的预偏置OFF的VCC电压	12.0	12.75	13.5	V
迟滞电压	V_{CCHYS}	$V_{CCHYS} = V_{CCON} - V_{CCOFF}$	6.0	7.0	8.0	V
	V_{CCH1}	$V_{CCH1} = V_{STOFF} - V_{STON}$	0.5	1.0	1.5	V
	V_{CCH2}	$V_{CCH2} = V_{STON} - V_{CCOFF}$	2.5	3.0	3.5	V
	V_{CCH3}	$V_{CCH3} = V_{CCON} - V_{STOFF}$	2.5	3.0	3.5	V
	V_{CCH4}	$V_{CCHYS} = V_{CCON} - V_{CCOFF}$	1.5	2.0	2.5	V
下管电源最低工作电压	V_{CCMIN}	LO引脚灌电流1mA, Vcc上升时, $V_{LO} < 0.5\text{V}$ 的VCC电压	1.0	1.7	3.0	V
启动时PFC恢复信号输出	V_{CCON_P}	VCC上升时,状态设定以后启动时 ($= V_{CCON}$)	15.0	16.0	17.0	V
VCC启动时消耗电流	I_{CC0}	$V_{CC} = 13\text{V}$, 启动时	0.55	0.75	0.95	V
VCC静态电流	I_{CC1}	$V_{CC} = 19\text{V}$, $V_{FB} = 0\text{V}$, 待机开关停止	0.80	1.00	1.20	mA
VCC工作电流	I_{CC2}	$V_{CC} = 19\text{V}$, 正常模式, $V_{FB} = \text{固定}$, 开关频率: 25kHz (VW/IS同步信号)	4.2	5.6	7.0	mA
	I_{CC3}	$V_{CC} = 19\text{V}$, 正常模式, $V_{FB} = \text{固定}$, 开关频率: 300kHz (VW/IS同步信号)	4.9	7.0	9.1	mA
锁死停止时的VCC放电电流	I_{CCRDC}	锁死停止时	2.0	2.5	3.5	mA

FA6C21N Datasheet
(3)-3.VCC电压跌落保护（VCC引脚）

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
跌落保护工作电压	V _{DVCCCL}	VCC下降时, t _{DVCCOFF} 后, 开关重启的Vcc电压	8.5	9.0	9.5	V
跌落保护解除电压	V _{DVCCCH}	VCC上升时, 经过停止时间后, 启动开关的Vcc电压	9.5	10.0	10.5	V
跌落保护停止时间	t _{DVCCOFF}	VCC=19V至V _{DVCCCL} -0.2V	660	810	960	ms

(3)-4.上管电源（VB引脚、VS引脚、HO引脚）

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
VBS工作开始电压	V _{BSON}	V _B 上升、V _{FB} =2V、V _S =0V、HO开关启动点	7.8	8.8	9.8	V
VBS工作停止电压	V _{BSOFF}	V _B 下降、V _{FB} =2V、V _S =0V、HO开关停止点	7.0	7.5	8.1	V
迟滞电压	V _{BSHYS}	V _{BSHYS} =V _{BSON} -V _{BSOFF}	0.5	1.3	2.0	V
上管电源最低工作电压	V _{BSMIN}	HO引脚灌电流1mA	0.6	2.2	3.0	V
上管静态电流	I _{BS1}	V _{FB} =0V、HO开关停止	17	27	47	uA
上管工作电流	I _{BS2}	V _B =19V、STB模式、V _{FB} =固定、开关频率: 25kHz（VW/IS同步信号）	46	70	94	uA
	I _{BS3}	V _B =19V、STB模式、V _{FB} =固定、开关频率: 300kHz（VW/IS同步信号）	0.34	0.52	0.70	mA
自举充电 LO ON周期	t _{TBTON}	STB模式、开关停止期间	80	100	120	ms
自举充电 LO ON期间	t _{WBTON}	STB模式、开关停止期间	16	20	24	us

(3)-5.状态设定功能（OST引脚）

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
状态设定拉电流	I _{MOST1}	OST状态设定期间1、V _{OST} =0V	-10.5	-10.0	-9.5	uA
	I _{MOST2}	OST状态设定期间2、V _{OST} =0V	-4.2	-4.0	-3.8	uA
状态设定时间	t _{MOST1}	OST状态设定期间1、C _{OST} =1nF、R _{OST} ≤390kΩ	10.8	12.0	13.2	ms
	t _{MOST2}	OST状态设定期间2、C _{OST} =1nF、R _{OST} ≥510kΩ	3.6	4.0	4.4	ms
状态设定电压 (OST状态设定期间1)	V _{MOST00}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =27kΩ	0.253	0.270	0.287	V
	V _{MOST01}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =43kΩ	0.404	0.430	0.456	V
	V _{MOST02}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =56kΩ	0.526	0.560	0.594	V
	V _{MOST03}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =75kΩ	0.705	0.750	0.795	V
	V _{MOST04}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =100kΩ	0.940	1.000	1.060	V
	V _{MOST05}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =130kΩ	1.222	1.300	1.378	V
	V _{MOST06}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =180kΩ	1.692	1.800	1.908	V
	V _{MOST07}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =240kΩ	2.256	2.400	2.544	V
	V _{MOST08}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =300kΩ	2.820	3.000	3.180	V
	V _{MOST09}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =390kΩ	3.666	3.900	4.134	V
状态设定电压 (OST状态设定期间2)	V _{MOST10}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =510kΩ	1.917	2.040	2.163	V
	V _{MOST11}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =680kΩ	2.556	2.720	2.884	V
	V _{MOST12}	C _{OST} =1nF, R _{OST} =910kΩ	3.421	3.640	3.859	V
	V _{MOSTOP}	OST引脚开路	4.3	5.0	5.3	V
状态设定拉电流切换电压	V _{TOST12}	OST状态设定期间1→2切换	4.32	4.60	4.88	V

FA6C21N Datasheet
(3)-6.状态设定功能 (MODE引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
状态设定拉电流	I_{MODE1}	$V_{MODE}=0V$	-4.4	-4.0	-3.6	uA
状态设定时间	t_{MODE1}	$C_{MODE}=1nF$	2.7	3.0	3.3	ms
状态设定电压	V_{MODE01}	$C_{MODE}=1nF, R_{MODE}=82k\Omega$	0.288	0.328	0.368	V
	V_{MODE02}	$C_{MODE}=1nF, R_{MODE}=150k\Omega$	0.528	0.600	0.672	V
	V_{MODE03}	$C_{MODE}=1nF, R_{MODE}=240k\Omega$	0.844	0.960	1.076	V
	V_{MODE04}	$C_{MODE}=1nF, R_{MODE}=390k\Omega$	1.372	1.560	1.748	V
	V_{MODEOP}	MODE引脚开路	2.20	3.20	4.50	V

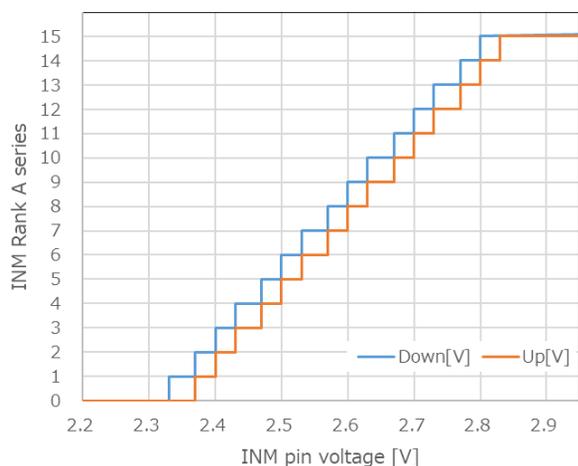
(3)-7.输入电压检测 (VH引脚、VCC引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
高压模式检测电压	V_{INH}	V_H 电压上升时	202.5	225.0	247.5	V
			143.2	159.1	175.0	Vac
高压模式检测延迟时间	$t_{DLY1to2}$	V_H 电压上升时	1.26	1.78	2.30	ms
低压模式检测电压	V_{INL}	V_H 电压下降时	189.1	210.2	231.3	V
			133.7	148.6	163.6	Vac
低压模式检测延迟时间	$t_{DLY2to1}$	V_H 电压下降时	12.4	14.7	17.0	ms

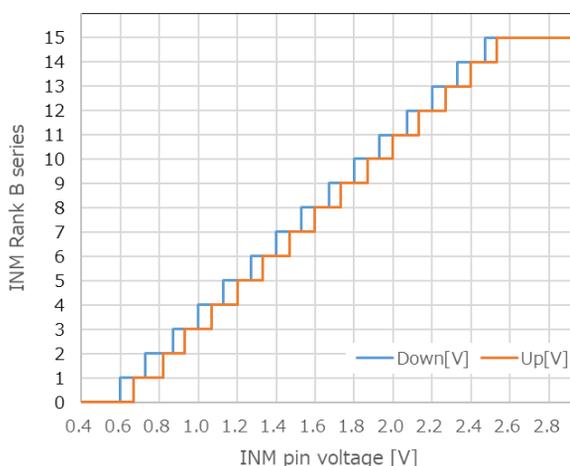
(3)-8.软启动工作

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
软启动开始ON宽度 (自动STB、PFC工作)	T_{ONSTA}		0.60	0.75	0.90	us
软启动开始ON宽度 (外部STB)	T_{ONSTE0}	INM电压Rank B0	1.20	1.50	1.80	us
	T_{ONSTEF}	INM电压Rank B15	0.60	0.75	0.90	us
软启动最大ON宽度	T_{ONMX0}	INM电压Rank B0	16.00	20.05	24.10	us
	T_{ONMXF}	INM电压Rank B15	10.00	12.55	15.10	us
最高振荡频率 (自动STB、PFC工作)	F_{MAX_A}		343	429	514	kHz
最高振荡频率 (外部STB)	F_{MAX_E0}	INM电压Rank B0	209	261	313	kHz
	F_{MAX_EF}	INM电压Rank B15	343	429	514	kHz
最低振荡频率	F_{MIN_A0}	INM电压Rank B0	19.5	24.4	29.3	kHz
	F_{MIN_AF}	INM电压Rank B15	30.8	38.6	46.4	kHz
最长软启动时间 (自动STB、PFC工作)	t_{SSMX_A0}	INM电压Rank B0	27.5	34.4	41.3	ms
	t_{SSMX_AF}	INM电压Rank B15	11.2	14.0	16.8	ms
最长软启动时间 (外部STB)	t_{SSMX_E0}	INM电压Rank B0	13.4	16.8	20.2	ms
	t_{SSMX_EF}	INM电压Rank B15	11.0	13.8	16.6	ms
软启动开始FB电压	V_{FBSS}	$V_{CC}=0V$ 至19V、 V_{FB} 上升	4.1	4.3	4.5	V
软启动结束FB电压	V_{FBSE}	$V_{CC}=0V$ 至19V、 V_{FB} 下降	3.9	4.1	4.3	V

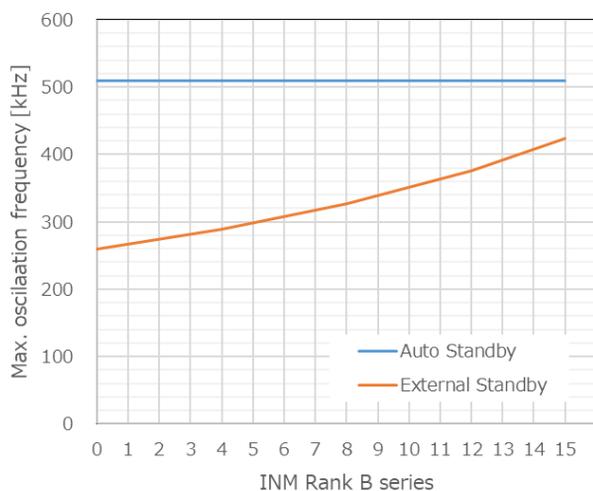
INM rank A series vs. INM pin voltage



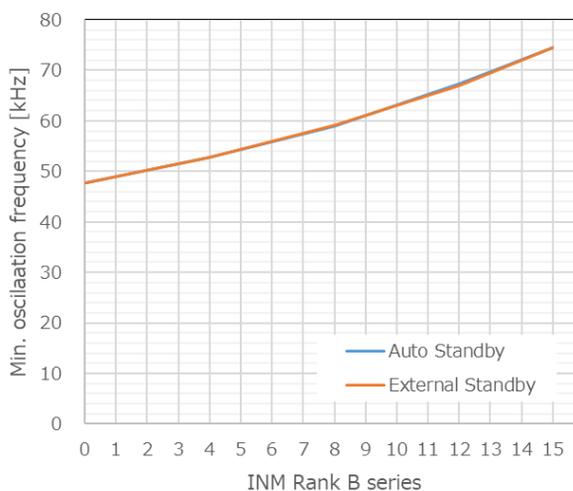
INM rank B series vs. INM pin voltage



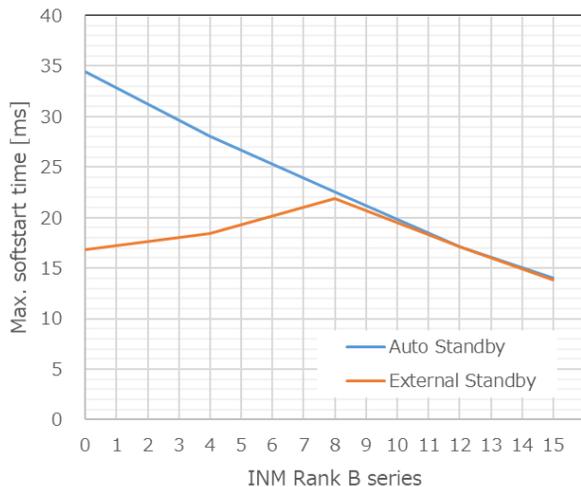
Max. oscillation frequency vs. INM rank B series



Min. oscillation frequency vs. INM Rank B series



Max. softstart time vs. INM rank B series



FA6C21N Datasheet
(3)-9.相位比控制 (FB引脚、IS引脚、HO引脚、LO引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
轻负载相位比	PLL	$V_{FB}=1.20V, T_{BH}=2.60\mu s,$ $P_{LL}=(T_{CH}-T_{BH})/T_{CH}$	0.485	0.511	0.537	-
重负载相位比	PHL	$V_{FB}=2.80V, T_{BH}=1.00\mu s,$ $P_{HL}=(T_{CH}-T_{BH})/T_{CH}$	0.823	0.866	0.909	-
占空比	DUTY	$V_{FB}=1.20V, T_{BH}=2.60\mu s,$ $DUTY=T_{CH}/T_{SW}$	48	50	52	%
零电流检测IS电压	VISZL	LO ON期间	0.025	0.050	0.075	V
	VISZH	HO ON期间	-0.075	-0.050	-0.025	V

(3)-10.反馈部分 (FB引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
FB引脚放电电阻	RFBDCHG	$V_{FB}=1V$ 启动前、保护工作时	8.6	12.4	16.2	kΩ

(3)-10-1.正常工作、高频突发工作时

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
FB引脚上拉电阻	RFBPU	根据 $V_{FB}=1V、2V$ 的测量值计算	19.6	24.6	29.6	kΩ
FB引脚拉电流	I_FBSO	$V_{FB}=0V$	-244	-203	-162	uA
开关工作停止电压	V_FBOF	V_{FB} 下降时, 开关停止点	0.44	0.50	0.56	V
开关工作开始电压	V_FBON	V_{FB} 上升时, 开关启动点	0.53	0.60	0.67	V
迟滞电压	V_FBHS	$V_{FBHS}=V_{FBON}-V_{FBOF}$	0.05	0.10	0.15	V

(3)-10-2.低频突发工作时

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
FB引脚上拉电阻	RFBPUON	突发FB下降时 (开关ON侧)	19.6	24.6	29.6	kΩ
	RFBPUOF	突发FB上升时 (开关OFF侧)	30.6	38.3	46.0	kΩ
FB引脚拉电流	I_FBSOON	突发FB下降时 (开关ON侧)	-194	-154	-128	uA
	I_FBSOOF	突发FB上升时 (开关OFF侧)	-158	-130	-102	uA
开关工作开始电压	V_LBFBH		0.90	1.00	1.10	V
开关工作停止电压	V_LBFBL	软结束开始	0.61	0.70	0.79	V
FB引脚上拉电阻 (无切换)	RFBPU		19.6	24.6	29.6	kΩ
FB引脚拉电流 (无切换)	I_FBSO		-244	-203	-162	uA
无上拉电阻切换的模式 检测突发停止期间	TBRFBNC	突发周期增加时	8	10	12	ms
突发停止连续检测次数	NRFBNC	突发周期增加时	-	1	-	cyc.
有上拉电阻切换的模式 检测突发停止期间	TBRFBCH	突发周期减少时	1.6	2.0	2.4	ms
突发停止连续检测次数	NRFBCH	突发周期减少时	-	5	-	cyc.

FA6C21N Datasheet
(3)-11.输入电流检测 (CA引脚、IS引脚、VW引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
CA引脚电压	VCA400_1	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均0.22V	1.095	1.150	1.205	V
	VCA400_2	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均0.11V	1.070	1.150	1.230	V
	VCA400_3	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均0.05V	0.950	1.050	1.150	V
	VCA400_4	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均0.02V	0.414	0.450	0.486	V
	VCA_RA	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均0.1V, R _{CA} =200kΩ, 自动待机设定时	1.47	1.68	1.90	V
	VCA_RE	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均0.1V, R _{CA} =200kΩ, 外部待机设定时	0.66	0.81	0.99	V
CA引脚内部电阻	RCAO_A	V _{IS} =0.25V, RCAO=(VCA@0uA-VCA@15uA)/15uA, 自动待机设定时	47.5	50.0	52.5	kΩ
	RCAO_E	V _{IS} =0.25V, RCAO=(VCA@0uA- VCA@15uA)/15uA, 外部待机设定时	272	320	368	kΩ

(3)-12.输入电流检测增益切换 (CA引脚、IS引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
CA引脚增益	GCAIS1	LO-HO关断期间, V _{IS} 平均值0.4V, ΔV _{CA} /ΔV _{IS}	4.8	5.0	5.2	V/V
	GCAIS2	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均值0.08V, ΔV _{CA} /ΔV _{IS}	9.6	10.0	10.4	V/V
	GCAIS4	LO关断-HO关断期间, V _{IS} 平均值0.04V, ΔV _{CA} /ΔV _{IS}	19.0	20.0	21.0	V/V
CA引脚增益减小的触发电压	VCAGD42	CA上升, GCAIS4→GCAIS2切换点	1.85	2.00	2.15	V
	VCAGD21	CA上升, GCAIS2→GCAIS1切换点	1.85	2.00	2.15	V
CA引脚增益增大的触发电压	VCAGU12	CA下降, GCAIS1→GCAIS2切换点	0.85	0.95	1.05	V
	VCAGU24	CA下降, GCAIS2→GCAIS4切换点	0.85	0.95	1.05	V

FA6C21N Datasheet
(3)-13.自动待机、工作模式切换 (CA引脚、FB引脚)
(3)-13-1.高频突发工作模式切换

项目	符号	条件		最小	典型	最大	单位
高频突发检测CA电压	VCHFDH	VCA下降时, VINM=2.6V,	状态设定的H电平 或 外部待机	0.877	0.924	0.973	V
	VCHFDM	正常→高频突发	状态设定的M电平	0.704	0.744	0.784	V
	VCHFDL		状态设定的L电平	0.590	0.624	0.659	V
高频突发解除CA电压	VCHFRH	VCA上升时, VINM=2.6V,	状态设定的H电平 或 外部待机	0.997	1.048	1.101	V
	VCHFRM	高频突发→正常	状态设定的M电平	0.805	0.848	0.892	V
	VCHFRL		状态设定的L电平	0.678	0.715	0.752	V
高频突发工作延迟时间	t _D _HBA	CA引脚增益:20 CA电压1.6V→0.5V *1		88	108	128	ms
正常工作恢复延迟时间	t _D _HNA	CA引脚增益:20 CA电压0.5V→1.6V *1		0.0	0.0	0.0	ms
正常工作快速恢复FB电压	V _{FBNRM}	FB上升时		1.88	2.00	2.12	V
正常工作快速恢复解除FB电压	V _{FBNRMR}	FB下降时 (检测解除)		1.78	1.90	2.02	V
高频突发停止INM电压	V _{INMST}	INM电压下降时		2.13	2.27	2.41	V
高频突发恢复INM电压	V _{INMRST}	INM电压上升时		2.19	2.33	2.47	V
高频突发停止INM电压的检测延迟	t _{DI} NMHB	INM电压2.6V→1.6V		460	640	840	us

*1 与此项的延迟时间不同, 输入时滤波另有10ms延迟时间发生。

(3)-13-2.低频突发工作模式切换

项目	符号	条件		最小	典型	最大	单位
低频突发检测CA电压 (PFC工作版)	VCLFADH	VCA下降时,	状态设定的H电平	0.153	0.174	0.195	V
	VCLFADM	VINM=2.6V,	状态设定的M电平	0.126	0.144	0.162	V
	VCLFADL	正常、高频突发 →低频突发	状态设定的L电平	0.109	0.124	0.140	V
低频突发解除CA电压 (PFC工作版)	VCLFARH	VCA下降时,	状态设定的H电平	0.245	0.274	0.299	V
	VCLFARM	VINM=2.6V,	状态设定的M电平	0.203	0.224	0.245	V
	VCLFARL	低频突发→正常	状态设定的L电平	0.173	0.191	0.209	V
低频突发工作延迟时间	t _D _LBA	CA引脚增益:20 *1		88	108	128	ms
正常工作恢复延迟时间	t _D _LNA	CA引脚增益:20 *1		0.0	0.0	0.0	ms
正常工作快速恢复FB电压	V _{FBNRM}	FB上升时		1.88	2.00	2.12	V
正常工作快速恢复解除FB电压	V _{FBNRMR}	FB下降时 (检测解除)		1.78	1.90	2.02	V
低频突发快速解除突发停止期间	T _{STOTD}	突发停止缩短时		0.08	0.10	0.12	ms
低频突发解除突发停止期间 检测次数	N _{STBOUT}			-	3.0	-	cyc.

*1 与此项的延迟时间不同, 输入时滤波另有10ms延迟时间发生。

FA6C21N Datasheet
(3)-13-3.PFC突发工作模式切换 (FA1B20N组合时)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位	
PFC突发检测CA电压	VCPFCADH	VCA下降时, VINM=2.6V	状态设定的H电平	0.972	1.024	1.076	V
	VCPFCADM		状态设定的M电平	0.782	0.824	0.866	V
	VCPFCADL		状态设定的L电平	0.656	0.691	0.726	V
PFC突发解除CA电压	VCPFCARH	VCA上升时, VINM=2.6V	状态设定的H电平	1.067	1.124	1.181	V
	VCPFCARM		状态设定的M电平	0.858	0.904	0.950	V
	VCPFCARL		状态设定的L电平	0.720	0.758	0.796	V
PFC突发工作延迟时间	tDPFCBUR	CA引脚增益:20 *1	88	108	128	ms	
PFC正常工作恢复延迟时间	tDP_BN	CA引脚增益:20 *1	0.0	0.0	0.0	ms	
正常工作快速恢复FB电压	VFBNRM	FB上升时	1.88	2.00	2.12	V	
正常工作快速恢复解除FB电压	VFBNRM	FB下降时 (检测解除)	1.78	1.90	2.02	V	
正常工作快速恢复解除延迟时间	tD_FB NRM	正常恢复时	0.8	1.0	1.2	ms	

*1 与此项的延迟时间不同, 输入时滤波另有10ms延迟时间发生。

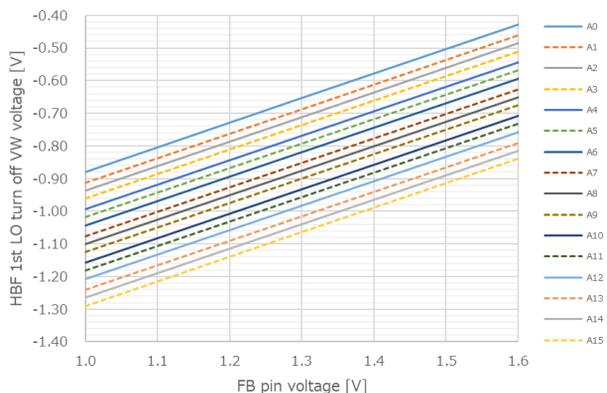
(3)-14.外部待机、工作模式切换 (CA引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
正常工作时CA箝位电压	VCANRCLP	CA电压上升时箝位电压	3.43	3.60	3.78	V
待机工作检测CA电压	VTHCASTH		3.599	3.80	3.986	V
待机工作解除CA电压	VTHCASTL		3.51	3.70	3.89	V
待机工作时CA箝位电压	VCASTCLP		3.80	4.00	4.20	V
待机工作切换延迟时间	tDCASTB	正常->待机	88	108	128	ms
正常工作恢复延迟时间	tDCANRM	待机->正常	0.1	0.5	1.0	us

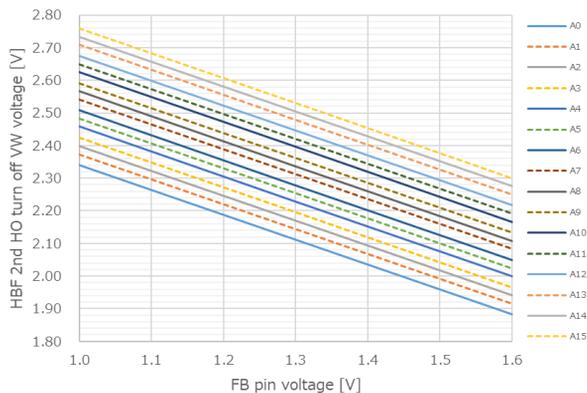
FA6C21N Datasheet
(3)-15.高频突发控制 (FB引脚、CA引脚、VW引脚、IS引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
高频突发最小频率	F _{MINHB}	V _{FB} =1.5V、V _{CA} =0.4V	22.0	25.0	28.0	kHz
1st LO开启VW检测电压	V _{HBVWON1}		0.087	0.100	0.113	V
1st LO开启待机时间	t _{HBON1}		7.1	8.3	9.6	Us
1st LO关断VW检测电压 V _{FB} =1.0V	V _{HVWO100}	INM电压Rank A0	-1.059	-0.879	-0.699	V
	V _{HVWO1F0}	INM电压Rank A15	-1.470	-1.290	-1.110	V
1st LO关断VW检测电压 V _{FB} =1.3V	V _{HVWO101}	INM电压Rank A0	-0.834	-0.654	-0.474	V
	V _{HVWO1F1}	INM电压Rank A15	-1.244	-1.064	-0.884	V
1st LO关断VW检测电压 V _{FB} =1.6V	V _{HVWO102}	INM电压Rank A0	-0.608	-0.428	-0.248	V
	V _{HVWO1F2}	INM电压Rank A15	-1.019	-0.839	-0.659	V
2nd HO关断VW检测电压 V _{FB} =1.0V	V _{HVWO200}	INM电压Rank A0	2.090	2.408	2.615	V
	V _{HVWO2F0}	INM电压Rank A15	2.462	2.807	3.020	V
2nd HO关断VW检测电压 V _{FB} =1.3V	V _{HVWO201}	INM电压Rank A0	1.885	2.189	2.392	V
	V _{HVWO2F1}	INM电压Rank A15	2.258	2.588	2.798	V
2nd HO关断VW检测电压 V _{FB} =1.6V	V _{HVWO202}	INM电压Rank A0	1.680	1.970	2.170	V
	V _{HVWO2F2}	INM电压Rank A15	2.053	2.369	2.575	V
3rd LO关断IS检测电压	V _{HISF3}		0.15	0.20	0.25	V
跳谷数切换阈值电压(CA) 自动待机时、状态设定的H电平	V _{BTC} AH12	Bottom=1→2	0.780	0.824	0.870	V
	V _{BTC} AH9	Bottom=10→9	0.153	0.174	0.196	V
跳谷数切换阈值电压(CA) 自动待机时、状态设定的M电平	V _{BTC} AM12	Bottom=1→2	0.628	0.664	0.701	V
	V _{BTC} AM9	Bottom=10→9	0.127	0.144	0.161	V
跳谷数切换阈值电压(CA) 自动待机时、状态设定的L电平	V _{BTC} AL12	Bottom=1→2	0.527	0.558	0.588	V
	V _{BTC} AL9	Bottom=10→9	0.110	0.124	0.139	V
跳谷数切换阈值电压(CA) 外部待机时	V _{BTC} AE12	Bottom=1→2	0.780	0.824	0.870	V
	V _{BTC} AE9	Bottom=10→9	0.153	0.174	0.196	V
跳谷数切换阈值电压(FB)	V _{FB} BT12	Bottom=1↔2	1.53	1.589	1.65	V
	V _{FB} BT9A	Bottom=9↔10	1.35	1.412	1.47	V

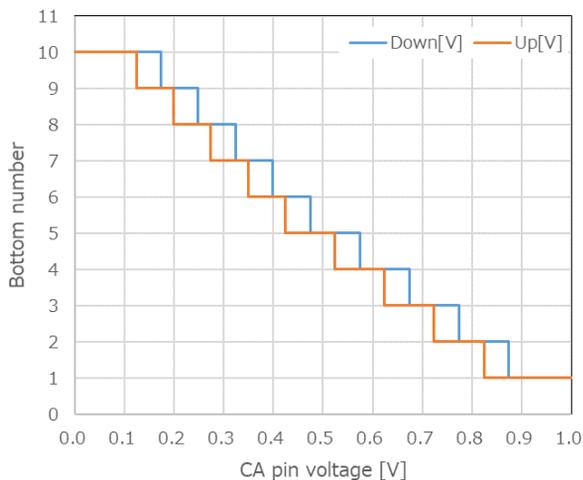
HBF 1st LO turn off VW pin voltage vs. FB pin series



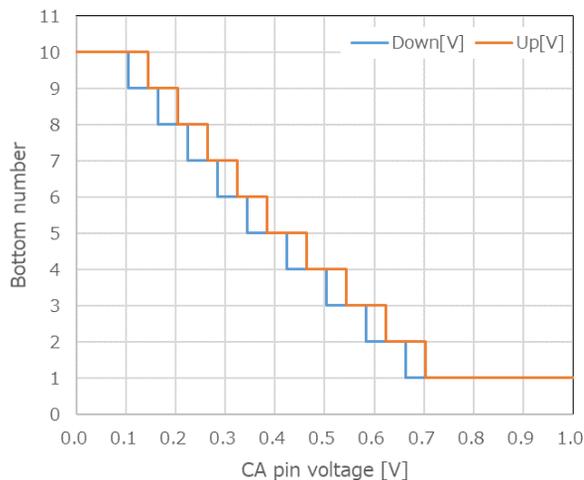
HBF 2nd HO turn off VW pin voltage vs. FB pin voltage



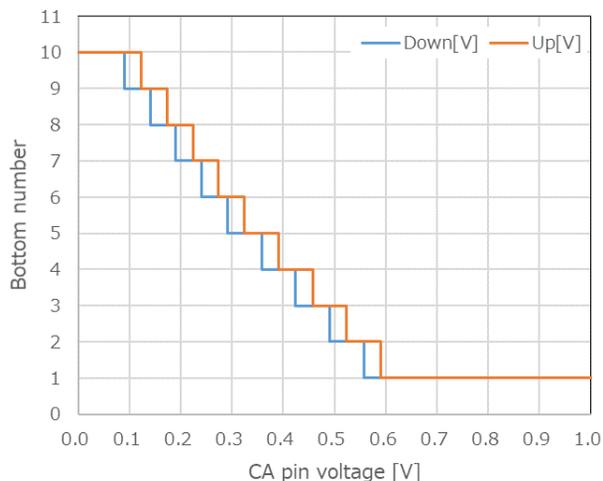
Bottom number vs. CA pin voltage(H level)



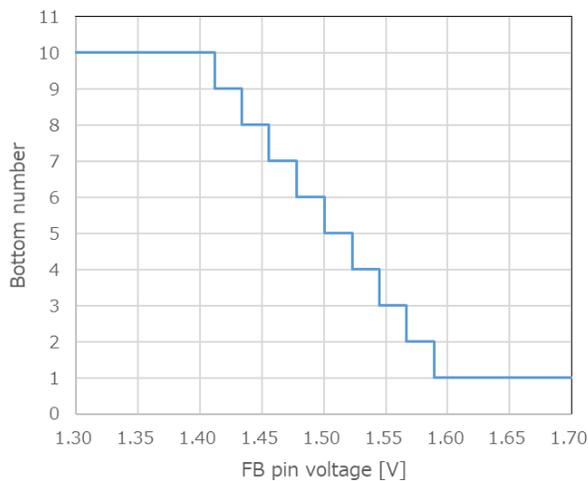
Bottom number vs. CA pin voltage(M level)



Bottom number vs. CA pin voltage(L level)

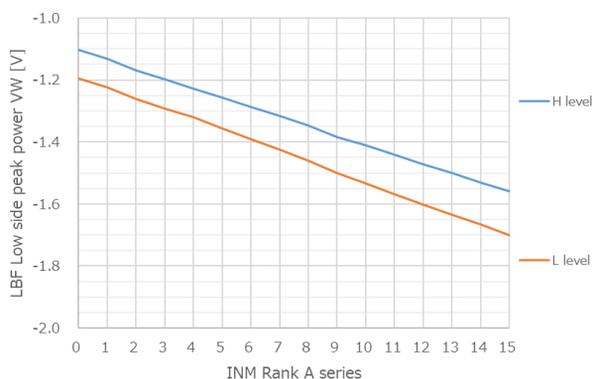
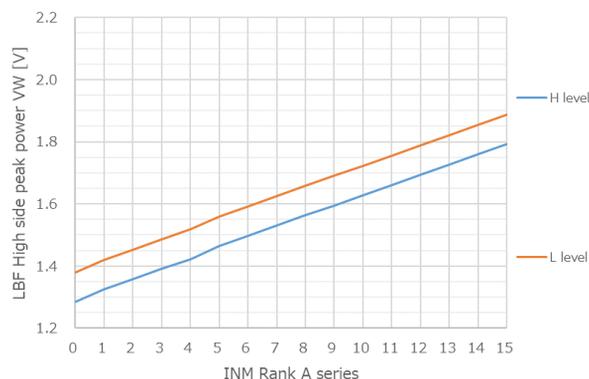


Bottom number vs. FB pin voltage



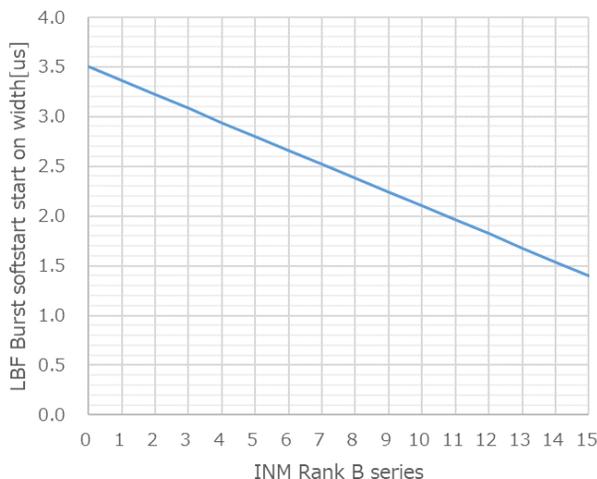
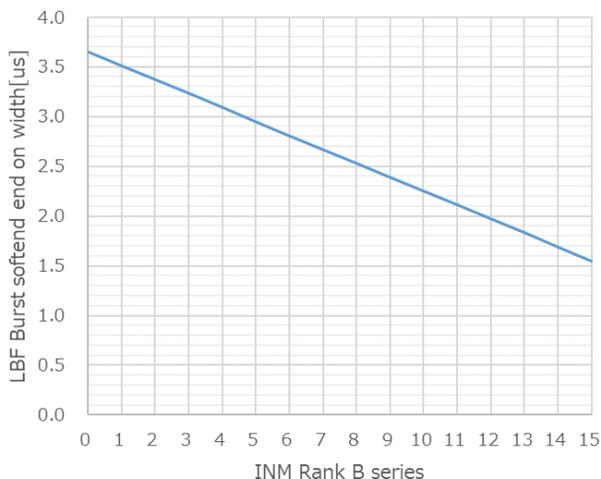
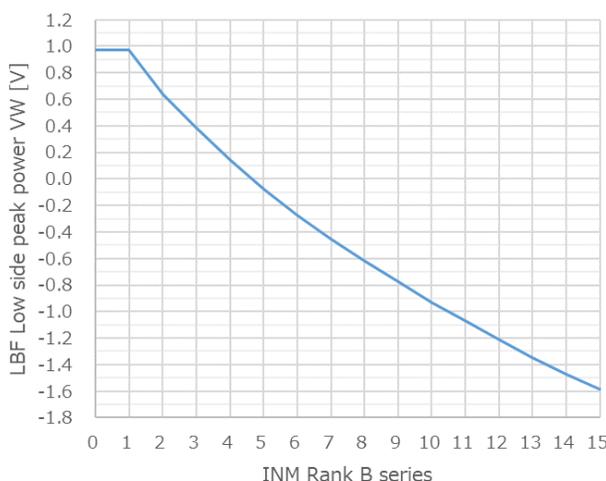
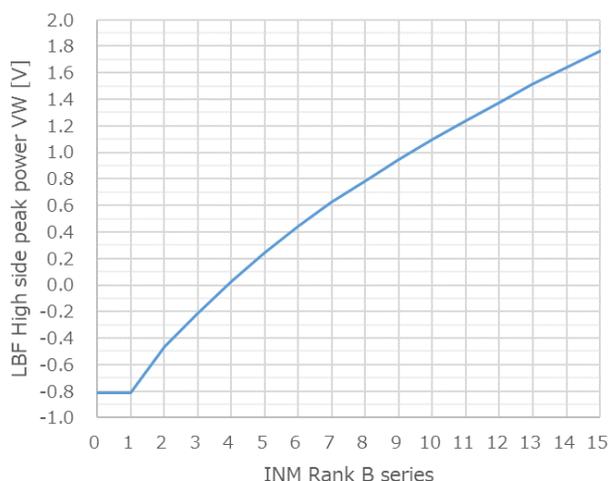
FA6C21N Datasheet
(3)-16. 自动待机、PFC工作版 低频突发控制 (FB引脚、VW引脚、IS引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
突发软启动 1st LO开启VW检测电压	V _{LBSSON}		0.087	0.100	0.113	V
突发软启动 1st LO关断VW检测电压	V _{LBSSOF}		-1.519	-1.391	-1.227	V
下管VW峰值功率控制 H电平选择时	V _{ALBVL0H}	INM电压Rank A0	-1.242	-1.102	-0.970	V
	V _{ALBVLFH}	INM电压Rank A15	-1.722	-1.560	-1.406	V
下管VW峰值功率控制 L电平选择时	V _{ALBVL0L}	INM电压Rank A0	-1.255	-1.186	-1.117	V
	V _{ALBVLFL}	INM电压Rank A15	-1.788	-1.694	-1.600	V
上管VW峰值功率控制 H电平选择时	V _{ALBVH0H}	INM电压Rank A0	1.144	1.284	1.432	V
	V _{ALBVHFH}	INM电压Rank A15	1.627	1.792	1.965	V
上管VW峰值功率控制 L电平选择时	V _{ALBVH0L}	INM电压Rank A0	1.302	1.382	1.462	V
	V _{ALBVHFH}	INM电压Rank A15	1.786	1.891	1.996	V
最终LO关断IS检测电压 (高频突发 3rd LO关断IS检测电压相同)	V _{HISF3}		0.15	0.20	0.25	V

LBF Low side peak powerVW vs. INM Rank A series

LBF High side peak powerVW vs. INM Rank A series


(3)-17.外部待机 低频突发控制 (FB引脚、VW引脚、IS引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
突发软启动 1st LO开启VW检测电压	V _{LBSSON}		0.080	0.100	0.113	V
突发软启动 1st LO关断VW检测电压	V _{LBSSOF}		-1.519	-1.391	-1.227	V
突发软启动开始ON宽度 · 外部STB	T _{BONSS0}	INM电压Rank B0	2.80	3.50	4.20	us
	T _{BONSSF}	INM电压Rank B15	1.12	1.40	1.68	us
突发软结束停止ON宽度 · 外部STB	T _{BONSE0}	INM电压Rank B0	2.92	3.65	4.38	us
	T _{BONSEF}	INM电压Rank B15	1.24	1.55	1.86	us
突发ON宽度阶跃时间 · 外部STB	T _{BONWD0}	INM电压Rank B0	656	820	984	ns
	T _{BONWDF}	INM电压Rank B15	40	50	60	ns
下管VW峰值功率控制	V _{ELVWLO}	INM电压Rank B0	0.873	0.974	1.179	V
	V _{ELVWLF}	INM电压Rank B15	-1.725	-1.587	-1.454	V
上管VW峰值功率控制	V _{ELVWH0}	INM电压Rank B0	-0.910	-0.811	-0.716	V
	V _{ELVWHF}	INM电压Rank B15	1.625	1.762	1.902	V

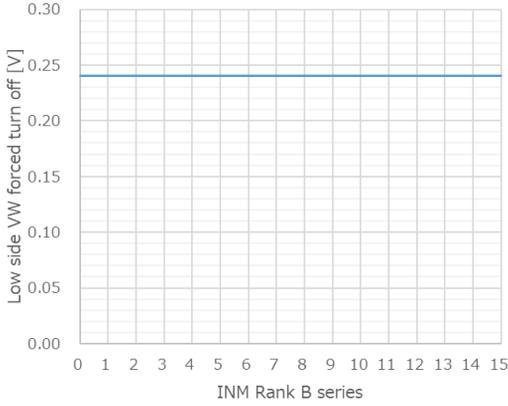
LBF Burst softstart start on width vs. INM Rank B series

LBF Burst softend end on width vs. INM Rank B series

LBF Low side peak power VW vs. INM Rank B series

LBF High side peak power VW vs. INM Rank B series


FA6C21N Datasheet
(3)-18.防止进入容性区间功能 (IS引脚、VW引脚)

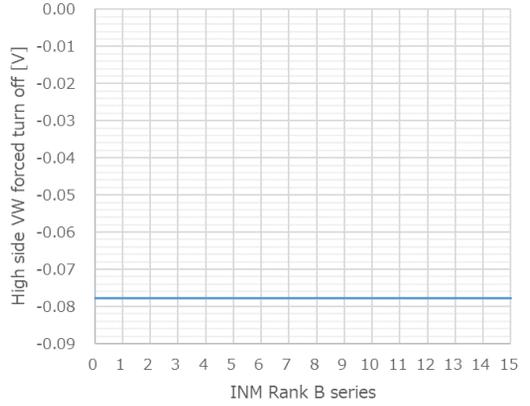
项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
下管强行关断VW引脚检测1电压	VWLON1	正常工作	0.198	0.240	0.283	V
	VWLOHB1	高频突发工作、 自动STB模式	0.198	0.240	0.283	V
	VWLOLB1	低频突发工作、 自动STB模式、PFC工作版	0.198	0.240	0.283	V
	VWLOE1L	低频突发、外部STB INM电压Rank B0-3 (低压侧)	1.123	1.214	1.305	V
	VWLOE1H	低频突发、外部STB INM电压Rank B4-15 (高压侧)	0.198	0.240	0.283	V
下管强行关断VW引脚检测2电压 (仅低频突发工作时)	VWLOLB2	低频突发工作、自动STB模式、 PFC工作版	-1.197	-1.111	-1.025	V
	VWLOE2H	低频突发工作、外部STB、 INM电压Rank B12-15 (高压侧)	-1.197	-1.111	-1.025	V
上管强行关断VW引脚检测1电压	VWHON1	正常工作	-0.112	-0.078	-0.043	V
	VWHOHB1	高频突发工作、自动STB模式	-0.112	-0.078	-0.043	V
	VWHOLB1	低频突发工作、自动STB模式、 PFC工作版	-0.112	-0.078	-0.043	V
	VWHOE1L	低频突发、外部STB INM电压Rank B0-3 (低压侧)	-1.135	-1.052	-0.968	V
	VWHOE1H	低频突发、外部STB INM电压Rank B4-15 (高压侧)	-0.112	-0.078	-0.043	V
上管强行关断VW引脚检测2电压 (仅低频突发工作时)	VWLOLB2	低频突发工作、自动STB模式、 PFC工作版	0.991	1.075	1.159	V
	VWLOE2H	低频突发工作、外部STB INM电压Rank B12-15 (高压侧)	0.991	1.075	1.159	V
下管强行关断VW引脚检测延迟时间	tDVWOFFP	阶跃输入Vvw=0V→+2V、LO关断点	100	150	250	ns
上管强行关断VW引脚检测延迟时间	tDVWOFFM	阶跃输入Vvw=0V→-2V、HO关断点	100	150	250	ns
下管强行关断IS引脚检测电压 (仅正常工作时)	VTHISM6	INM电压Rank B0-6	-0.633	-0.516	-0.407	V
	VTHISMF	INM电压Rank B15	-1.401	-1.238	-1.083	V
上管强行关断IS引脚检测电压 (仅正常工作时)	VTHISP6	INM电压Rank B0-6	0.408	0.516	0.632	V
	VTHISPF	INM电压Rank B15	1.084	1.238	1.400	V
下管强行关断IS引脚检测延迟时间	tDISOFFM	阶跃输入Vvw=0V→1.5V、 Vis=-2V→-0.5V、LO关断点	100	150	250	ns
上管强行关断IS引脚检测延迟时间	tDISOFFP	阶跃输入Vvw=0V→-1.5V、 Vis=2V→0.5V、HO关断点	100	150	250	ns
不平衡控制ON宽度增加比	DONLH	ON宽度增加时: LO→HO	11.0	12.5	14.0	%
	DONHL	ON宽度增加时: HO→LO	11.0	12.5	14.0	%

FA6C21N Datasheet

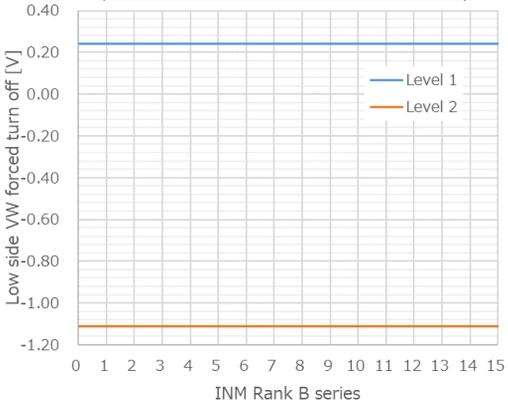
Low side VW forced turn off vs. INM Rank B series
(正常工作、高频突发)



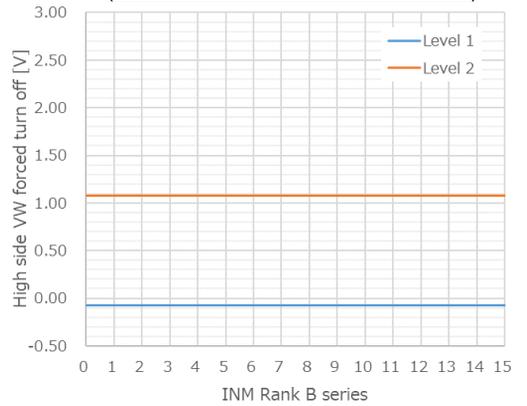
High side VW forced turn off vs. INM Rank B series
(正常工作、高频突发)



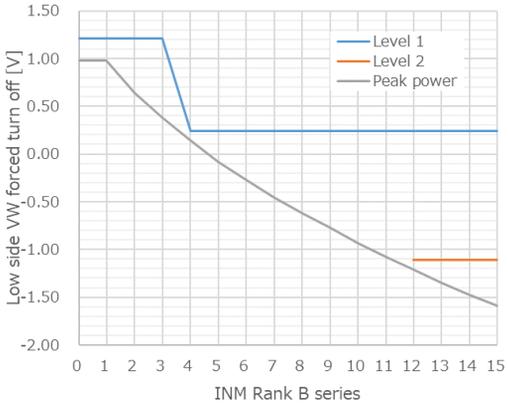
Low side VW forced turn off vs. INM Rank B series
(低频突发、自动待机、PFC工作版)



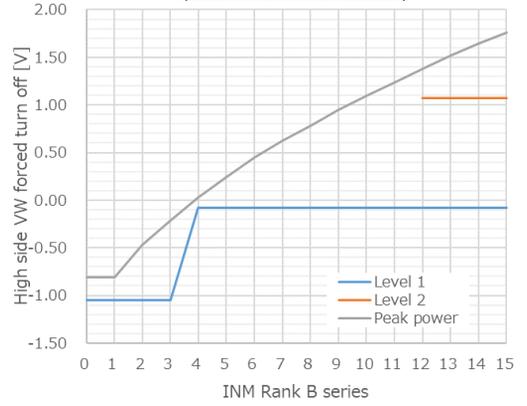
High side VW forced turn off vs. INM Rank B series
(低频突发、自动待机、PFC工作版)



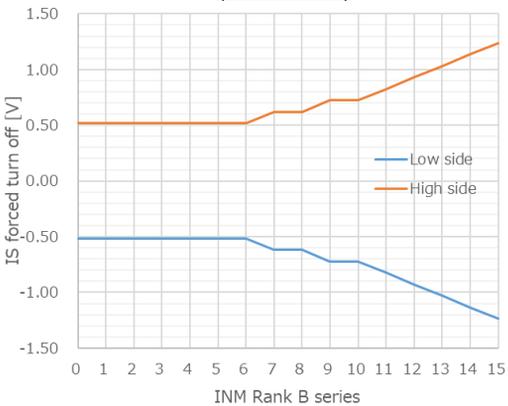
Low side VW forced turn off vs. INM Rank B series
(低频突发、外部待机)



High side VW forced turn off vs. INM Rank B series
(低频突发、外部待机)



IS forced turn off vs. INM Rank B series
(仅正常工作)



FA6C21N Datasheet
(3)-19.死区时间自调整功能（VW引脚）

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
下管开启检测 *4	DVVWM	*2	0.6	-	-	V/us
上管开启检测 *4	DVVWP	*3	0.6	-	-	V/us
下管开启VW引脚检测延迟时间	tDVWONM	VOST=1V、从VW下降到LO上升的时间	100	200	400	ns
上管开启VW引脚检测延迟时间	tDVWONP	VOST=1V、从VW上升到HO下降的时间	100	200	400	ns
最短死区时间	tDMINLH	LO下降→HO上升	380	430	480	ns
	tDMINHL	HO下降→LO上升	380	430	480	ns
最长死区时间	tDMAXLH	LO下降→HO上升	22	25	28	us
	tDMAXHL	HO下降→LO上升	22	25	28	us
VW电位偏移电阻	RvwLVS	Vvw=0V	80	100	120	kΩ

*2 当VW端子电压Vvw由0V上升至4V后，在DVVWM (=dVvw/dt) 的斜率下下降至-4V间，开启LO。

*3 当VW端子电压Vvw由0V下降至-4V后，DVVWP (=dVvw/dt) 的斜率下上升至4V间，开启HO。

*4 在使用时，请以规格值以上的斜率信号作输入。

(3)-20.X-CAP放电功能（VH引脚）

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
AC检测保证VH振幅	VHACDETL	VH=0V至452V X-CAP放电可检测的最小VH振幅	49.5	-	-	V
	VHACDETH	VH=452V以上 X-CAP放电可检测的最小VH振幅	76.2	-	-	V
AC检测延迟时间	tACDET1	VH输入AC→DC、从DC输入开始至X-CAP放电开始的时间	42.0	56.0	70.0	ms
X-CAP放电平均电流	IxCD	XC放电平均电流、VH=120V	1.0	2.0	3.5	mA
X-CAP放电周期	txCD	XC放电时 放电周期	3.2	4.0	4.8	ms
X-CAP放电ON时间	tONXCD	XC放电时 放电时间	2.4	3.0	3.6	ms
X-CAP放电OFF时间	tOFFXCD	XC放电时 放电停止时间	0.8	1.0	1.2	ms

(3)-21.VH引脚Brown-In和Brown-Out（VH引脚）

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
Brown-In电压	VHBI	VH电压上升时	84.3	90.0	95.8	V
Brown-Out电压	VHBO	VH电压下降时	56.2	60.0	63.9	V
Brown-Out检测延迟时间	tDVHBO	VH电压下降时	38	47	56	ms

(3)-22.INM引脚Brown-In和Brown-Out（INM引脚）

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
Brown-In电压	VINMBIA	VINM上升时，工作开始点 （自动STB、PFC工作版）	2.22	2.30	2.38	V
	VINMBIE	VINM上升时，工作开始点 （外部STB）	0.52	0.55	0.58	V
Brown-In检测延迟时间	tDINMBI	VINM上升时，至Vcc充电开始	120	160	200	us
Brown-Out电压	VINMBOA	VINM下降时，VH<VHBO、工作停止点 （自动STB、PFC工作版）	0.47	0.50	0.53	V
	VINMBOE	VINM下降时，VH<VHBO、工作停止点 （外部STB）	0.32	0.35	0.38	V
Brown-Out检测延迟时间	tDINMBO1	从VINM<VINML至开关停止	486	608	730	us

(3)-23.过载保护 (FB引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
过载保护检测FB电压	VFBOLPH	VFB上升时, 开关停止点	4.1	4.3	4.5	V
过载保护解除FB电压	VFBOLPL	VFB恢复时	3.9	4.1	4.3	V
FB迟滞电压	VFBHYS	$VOLPFBHYS = VOLPFBH - VOLPFBL$	0.1	0.2	0.3	V
过载保护检测延迟时间	tOLPDL	VFB=4.5V、至开关停止的期间	60.8	76.8	92.8	ms
过载保护停止时间	tOLPOF	VFB=2V、开关停止期间	660	810	960	ms

(3)-24.过载保护 (CA引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
过载保护检测CA电压1 (自动STB:H电平、外部STB)	VCAOLH1	VCA下降时	2.76	3.00	3.24	V
过载保护解除CA电压1 (自动STB:H电平、外部STB)	VCAOLL1	VCA上升时	2.62	2.85	3.08	V
过载保护检测CA电压2 (自动STB:L电平)	VCAOLH2	VCA下降时	1.38	1.50	1.62	V
过载保护解除CA电压2 (自动STB:L电平)	VCAOLL2	VCA上升时	1.29	1.40	1.51	V
过载延迟时间	tOLPDL	VCA上升时 *1	31	38	45	ms
过载停止时间	tOLPOF	VFB=2V、开关停止期间	660	810	960	ms

*1 与此项的延迟时间不同, 输入时滤波另有10ms延迟时间发生。

(3)-25.过电流保护 (IS引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
下管过电流保护工作电压	VOCMN	Vis下降时, 正常工作	-4.25	-4.0	-3.75	V
上管过电流保护工作电压	VOCPN	Vis下降时, 正常工作	3.75	4.0	4.25	V
下管过电流保护工作 关断延迟时间	tDLOCM	VFB=2V、Vis下降~VLO下降	100	200	260	ns
上管过电流保护工作 关断延迟时间	tDLOCP	VFB=2V、Vis上升~VHO下降	100	200	260	ns
过电流检测重置时间	tOCRST	VFB=2V	60	76	92	us
过电流检测延迟时间	tOCPDL		8.00	10.0	12.00	ms
过电流停止时间	tOCOFF	VFB=2V、开关停止期间	660	810	960	ms
IS电位偏移电阻	RISLVS		200	240	280	kΩ

(3)-26.过热保护 (无引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
过热保护工作温度	T _{JOH}	VCC=19V、VFB=2V、 开关停止点	130	140	150	°C
过热保护解除温度	T _{JOHR}	VCC=19V、VFB=2V、 开关重启点	105	115	125	°C
过热保护温度迟滞	ΔT _{JOH}	ΔT _{JOH} =T _{JOH} -T _{JOHR}	15	25	35	°C

FA6C21N Datasheet
(3)-27.外部故障停止功能 (MODE引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
MODE引脚拉电流	I _{MODESC}	V _{MODE} =0V	-34	-27	-20	uA
外部故障停止检测电压	V _{MODEST}	V _{MODE} 下降 开关停止点	0.30	0.35	0.40	V
MODE引脚稳态箝位电压	V _{MODCLP}	I _{MODE} =-10uA	0.45	0.50	0.55	V
外部故障停止延迟时间	t _{MODELY}	V _{MODE} =0.55V至0V 从V _{MODE} 下降至开关停止的时间	53	60	91	us

(3)-28.过电压保护 (VCC引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
VCC过电压保护检测电压	V _{CCOVPH}	VCC上升时	27.5	28.5	29.5	V
VCC过电压保护延迟时间	T _{VCCDLY}	从VCC上升的开关停止	244	304	364	US

(3)-29.PFC通信功能 (OST引脚、FA1B20N选择)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
PFC停止 输出电压	V _{OSTSTP2}	PFC停止	4.0	5.0	5.3	V
PFC停止 上拉电阻	R _{OSTSTP2}	PFC停止、R _{OST} =1/(I _{OST} (4V)- I _{OST} (3V))	2.0	2.9	3.8	kΩ
PFC停止信号 高输出时间	t _{POSTSP2}	PFC停止、V _{OST} =0V	40	50	60	us
PFC停止信号 输出期间	t _{COSTSP2}	PFC停止、V _{OST} =0V	1.6	2.0	2.4	ms
PFC模式切换 H输出电压	V _{OSTMOD2}	PFC正常→待机	4.0	5.0	5.3	V
PFC模式切换 拉电流	I _{OSTMOD2}	PFC正常→待机、V _{OST} =0V	-2.0	-1.7	-1.4	mA
PFC模式切换 待机信号H输出期间	t _{P_OST2}	PFC正常→待机	3.2	4.0	4.8	ms
PFC模式切换 正常信号H输出周期	t _{P_NOM2}	PFC待机→正常	0.8	1.0	1.2	ms
输入电压切换 输出电压	V _{OSTVIN2}	PFC待机、V _H =300V→100V	4.0	5.0	5.3	V
输入电压切换 拉电流	I _{OSTVIN2}	PFC待机、V _{OST} =0V	-2.0	-1.7	-1.4	mA
输入电压切换 高输入电压时输出 脉冲次数	N _{PVINH2}	PFC正常、V _H =300V	-	1.0	-	time
输入电压切换 低输入电压时输出 脉冲次数	N _{PVINL2}	PFC正常、V _H =100V	-	2.0	-	times
间隔信号输出电压	V _{OSTBLK2}	PFC正常、自动待机时未发送信号的 状态	-0.1	0.0	0.1	V
正常信号输出 最小间隔时间	t _{BOSTNM2}	PFC正常→待机→正常	0.8	1.0	1.2	ms
	t _{BSTPNM2}	PFC正常→停止→正常	0.8	1.0	1.2	ms
待机信号输出 最小间隔时间	t _{BSTPST2}	PFC待机→停止→待机	0.8	1.0	1.2	ms
输入电压切换信号输出 最小间隔 时间	t _{BVINNM2}	PFC正常、V _H =300V→100V→300V、 从低输入信号输出完成至高输入信号 输出开始的时间	15.8	21.0	26.3	ms
	t _{BVINST2}	PFC待机、V _H =300V→100V→300V、 从低输入信号输出完成至高输入信号 输出开始的时间	15.8	21.0	26.3	ms
信号输出后下拉期间	t _{D_OST2}	PFC通信信号输出完成后引脚放电	32.0	40.0	48.0	us
信号输出后下拉电阻	R _{OST_PD2}	PFC通信信号输出完成后引脚放电	1.7	2.4	3.1	kΩ
外部待机解除时 输入信号电压延迟时间	t _{DVINEX2}	V(CA) 4V→0V~OST信号输出	80	100	120	ms

FA6C21N Datasheet
(3)-30. 下管输出 (LO引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
H电平输出电压	V_{OH_LO}	$V_{CC}=19V$ 、 $I_{OL}=-100mA$	18.1	18.3	18.5	V
L电平输出电压	V_{OL_LO}	$V_{CC}=19V$ 、 $I_{OL}=+100mA$	0.26	0.33	0.40	V
H电平负载短路电流	I_{OH_LO}	$V_{CC}=19V$ 、 $V_{LO}=0V$	-0.8	-0.5	-0.3	A
L电平负载短路电流	I_{OL_LO}	$V_{CC}=19V$ 、 $V_{LO}=19V$	0.7	1.5	2.3	A
上升时间	t_{R_LO}	$C_{LO}=1000pF$ 、 LO电平10%至90%	5	30	60	ns
下降时间	t_{F_LO}	$C_{LO}=1000pF$ 、 LO电平90%至10%	5	25	50	ns

(3)-31. 上管输出 (HO引脚)

项目	符号	条件	最小	典型	最大	单位
H电平输出电压	V_{OH_HO}	$V_B=19V$ 、 $V_S=0V$ 、 $I_{HO}=-100mA$	16.9	17.3	17.7	V
L电平输出电压	V_{OL_HO}	$V_B=19V$ 、 $V_S=0V$ 、 $I_{HO}=100mA$	0.44	0.55	0.66	V
H电平负载短路电流	I_{OH_HO}	$V_{BS}=19V$ 、 $V_S=0V$ 、 $V_{HO}=0V$	-0.8	-0.5	-0.3	A
L电平负载短路电流	I_{OL_HO}	$V_{BS}=19V$ 、 $V_S=0V$ 、 $V_{HO}=19V$	0.5	0.9	1.3	A
上升时间	t_{R_HO}	$V_{BS}=19V$ 、 $V_S=0V$ 、 $C_{HO}=1000pF$ HO电平10%至90%	10	50	100	ns
下降时间	t_{F_HO}	$V_{BS}=19V$ 、 $V_S=0V$ 、 $C_{HO}=1000pF$ HO电平90%至10%	5	30	60	ns

7. DC典型特性

注意)

(1)无特殊指定时，测量条件如下所示。

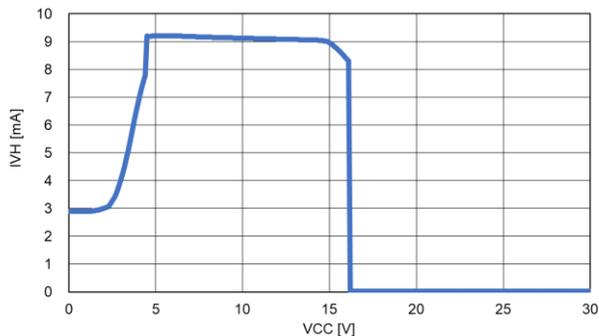
$T_j = 25^\circ\text{C}$, $V_H = 100\text{V}$, $V_{CC} = 19\text{V}$, $V_B = 19\text{V}$, $V_S = 0\text{V}$, $V_{FB} = 2.0\text{V}$, $V_{NM} = 2.6\text{V}$, CA pin open, $V_S = 0\text{V}$, $V_{Ww} = 0\text{V}$, $V_{OST} = 0\text{V}$, $V_{MODE} = 0.55\text{V}$, LO引脚开路, HO引脚开路。

(2)输出电流特性中“+”表示拉电流，“-”表示灌电流。

(3)这里列出的数据仅表示IC的典型特性，并不保证一定具有这些特性。

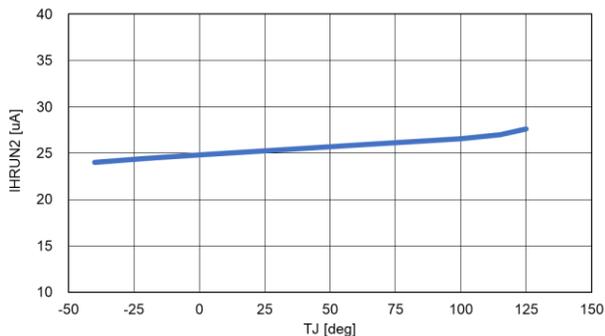
电压依赖性

VH引脚输入电流

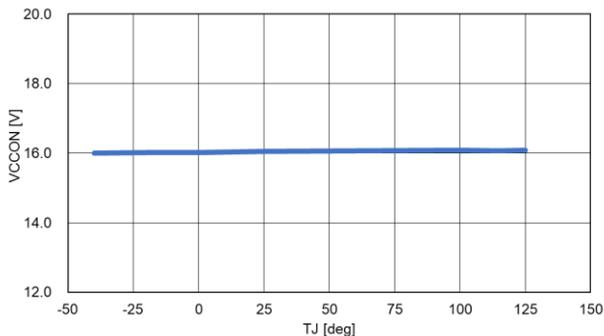


温度关联性

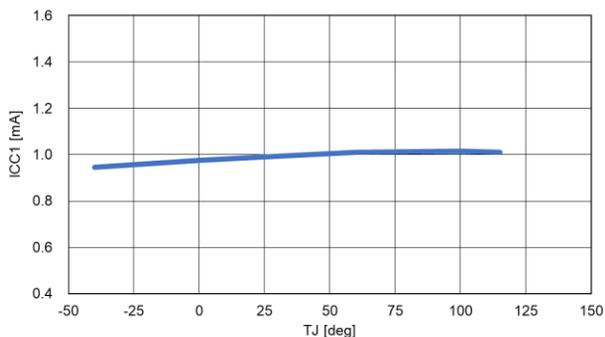
VH引脚输入电流



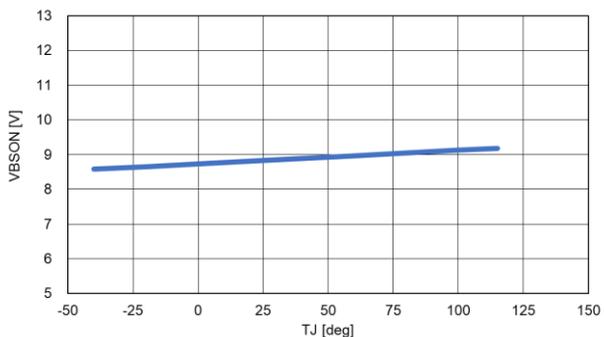
工作开始电压



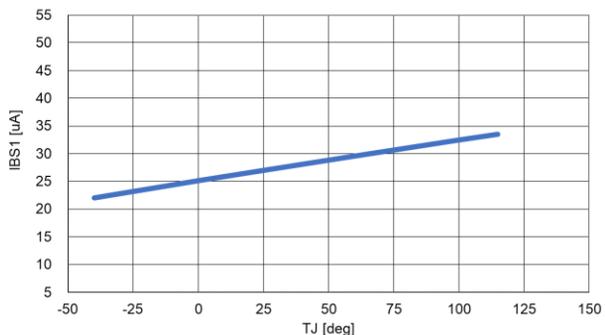
VCC静态电流



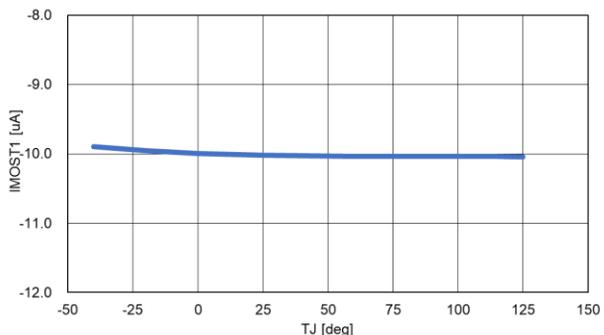
VBS工作开始电压



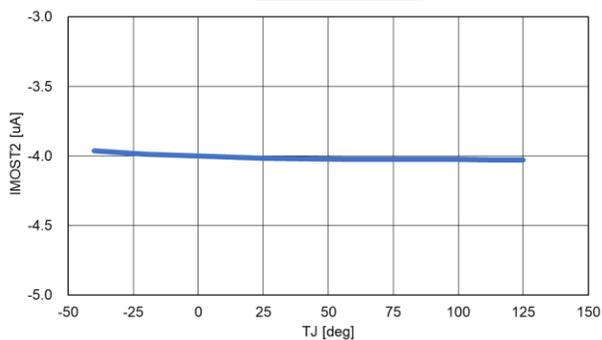
上管静态电流



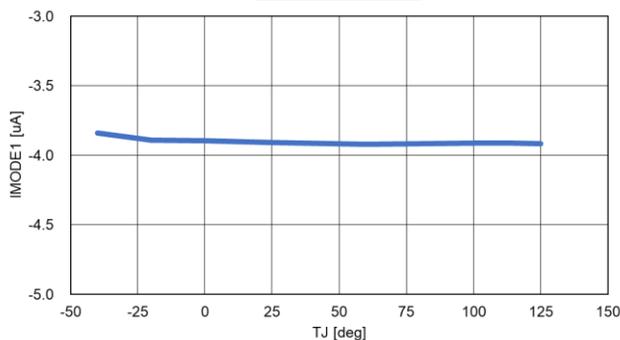
状态设定拉电流



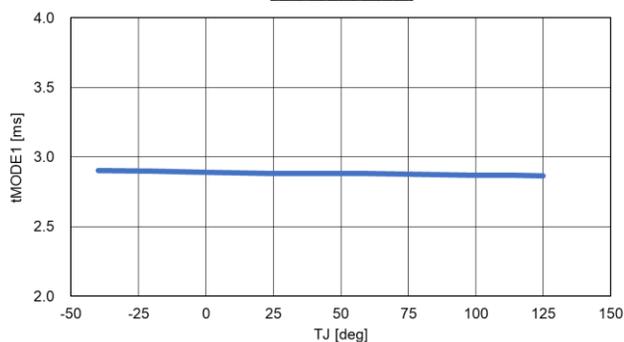
状态设定拉电流



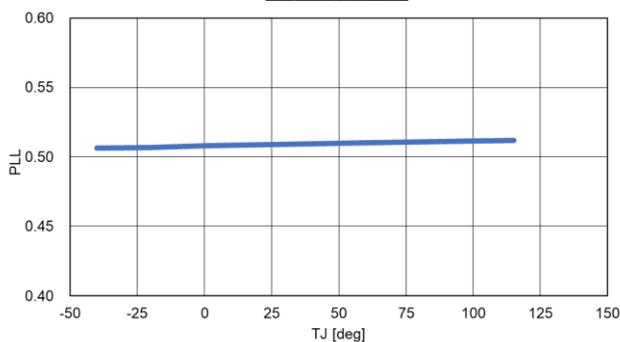
状态设定拉电流



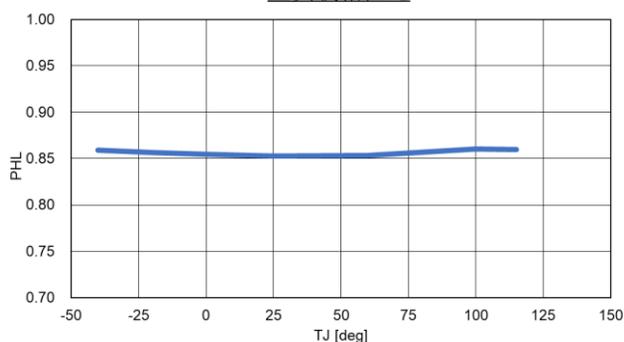
状态设定时间



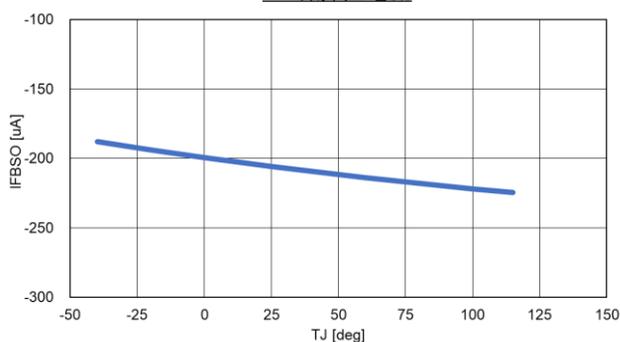
轻负载相位比



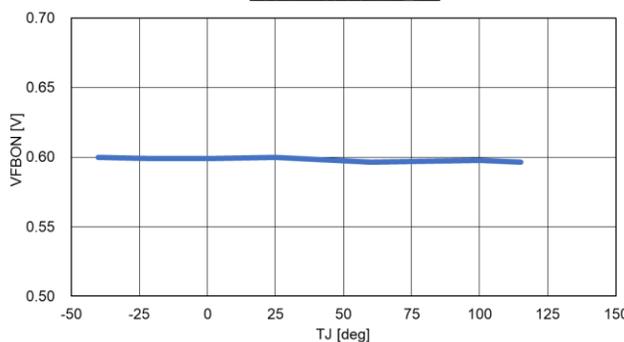
重负载相位比



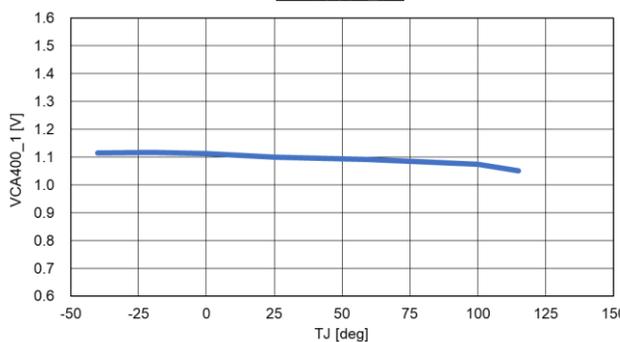
FB引脚拉电流



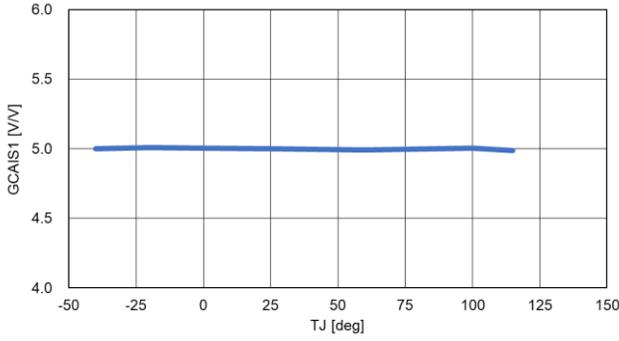
开关工作开始电压



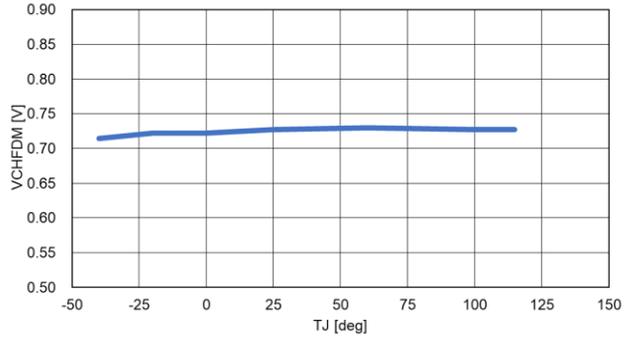
CA引脚电压



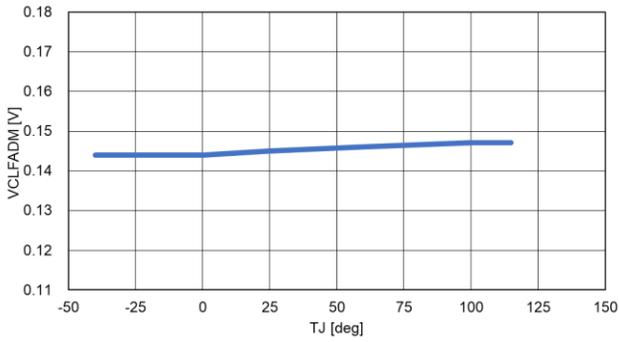
CA引脚增益



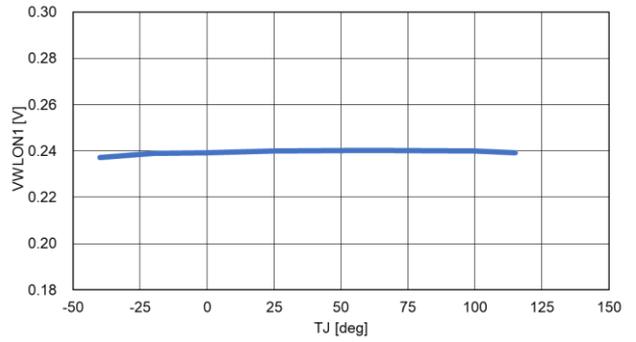
高频突发检测CA电压



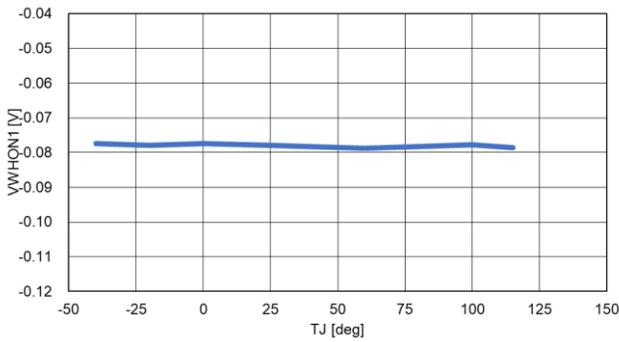
低频突发检测CA电压 (PFC工作版)



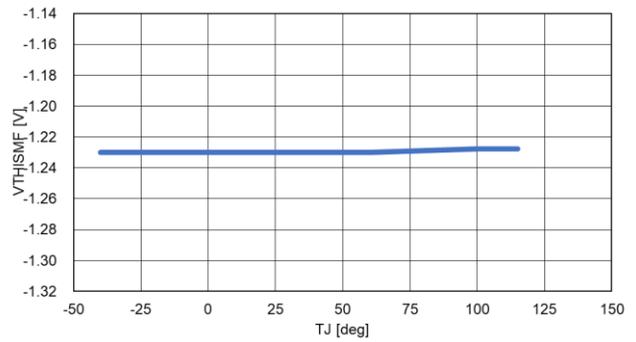
下管强行关断VW引脚检测1电压



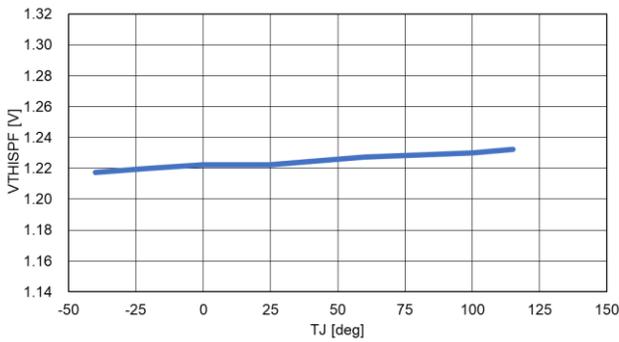
上管强行关断VW引脚检测1电压



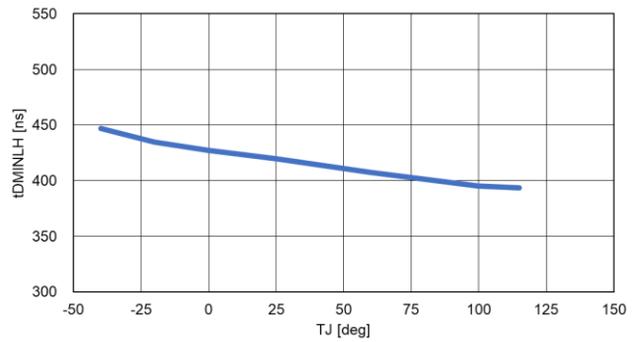
下管强行关断IS引脚检测电压



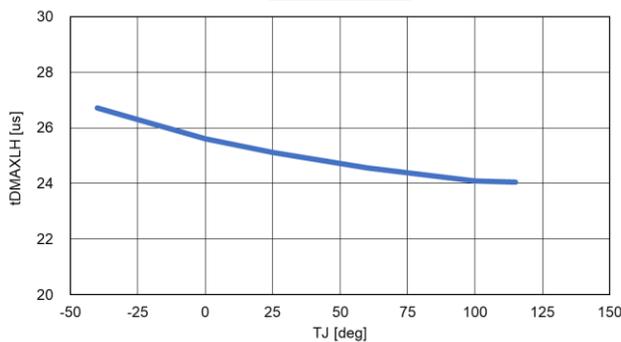
上管强行关断IS引脚检测电压



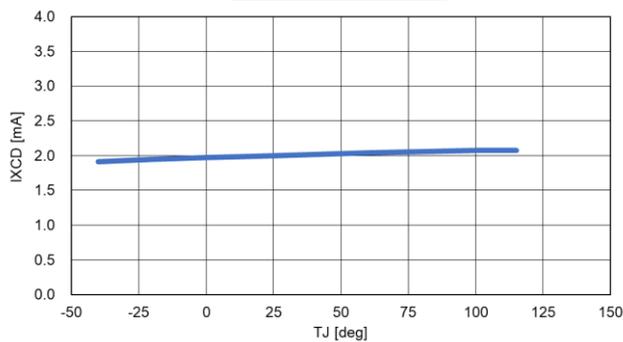
最短死区时间



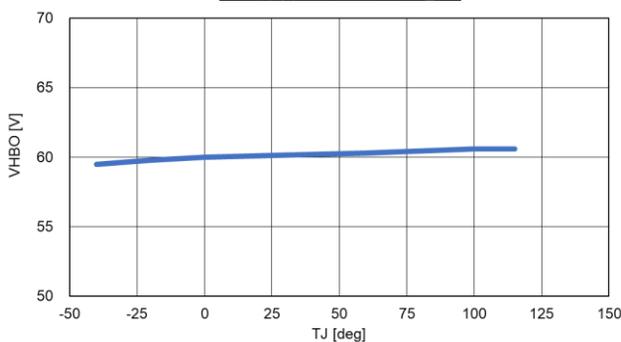
最长死区时间



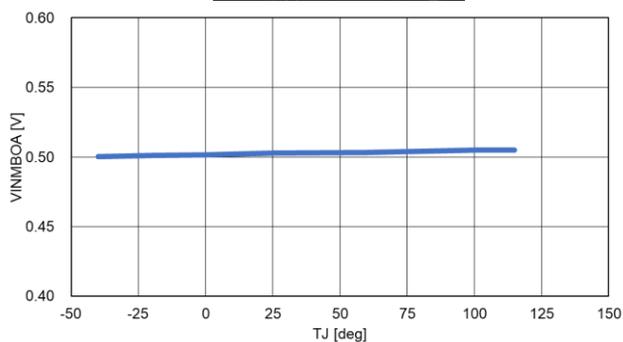
X-CAP放电平均电流



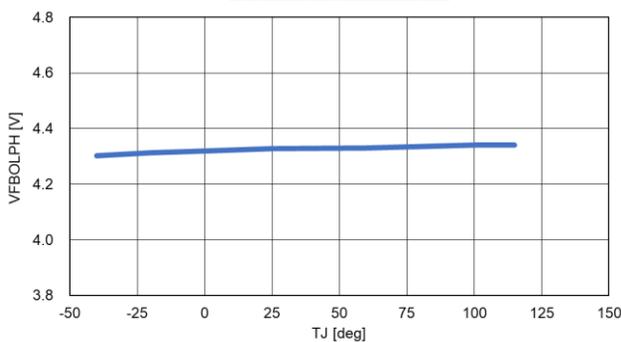
VH引脚Brown-Out电压



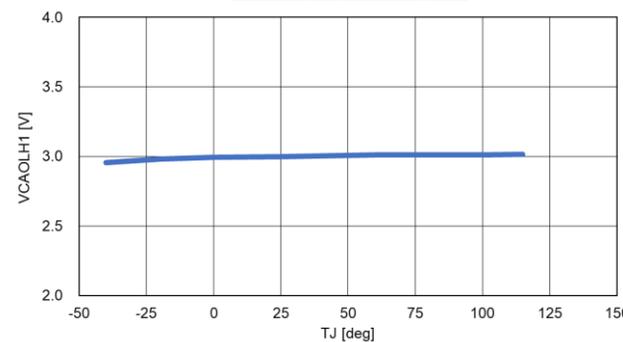
INM引脚Brown-Out电压



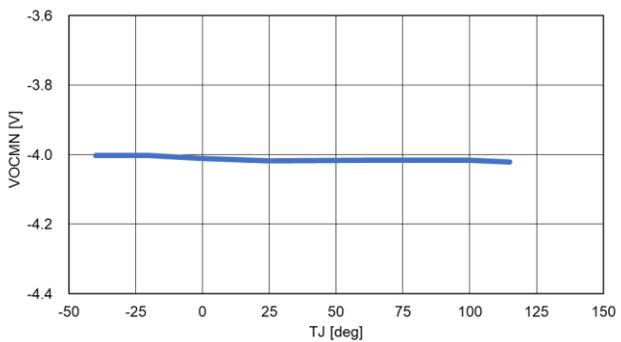
过载保护检测FB电压



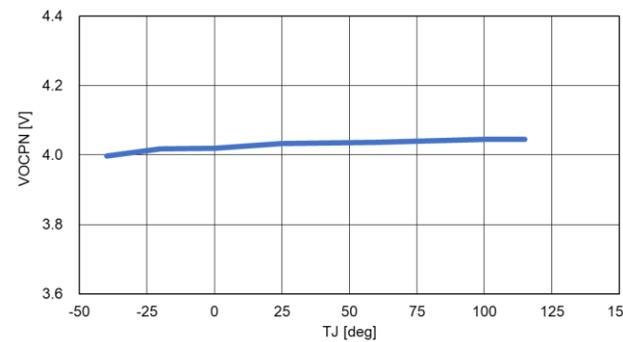
过载保护检测CA电压1



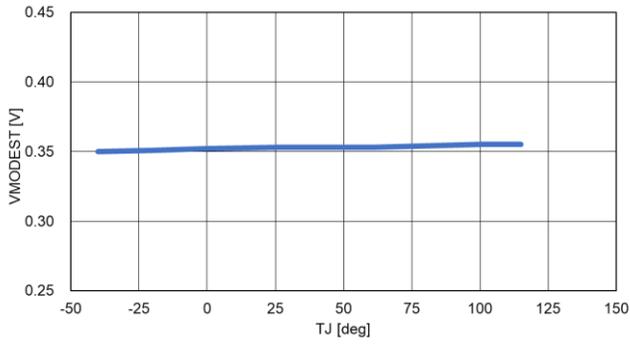
下管过电流保护工作电压



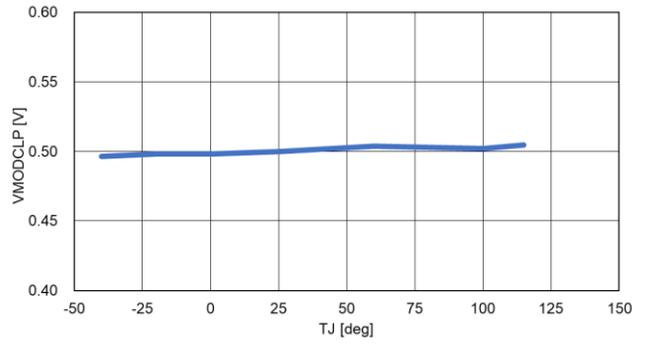
上管过电流保护工作电压



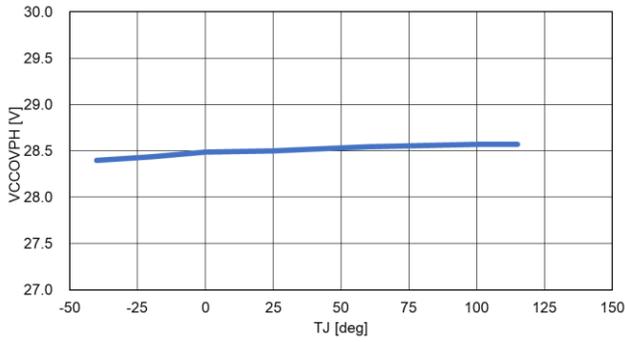
外部故障停止检测电压



MODE引脚稳态箝位电压



VCC过电压保护检测电压



8. LLC电流谐振转换器

8-1. LLC电流谐振转换器

FA6C21N为LLC电流谐振转换器的控制IC。LLC电流谐振转换器具有图1所示的电路结构，减小变压器的励磁电感以及开关频率随负载变化的变化量。开关频率的变化量减小时，输出电压的精度提高。如果将该LLC电流谐振转换器用于多路输出转换器，则会提高基于其它输出负载变化的输出电压调整，即交叉调整。

由于LLC电流谐振转换器由半桥电路驱动，因此，除下管驱动电路外，还需高侧浮地驱动电路。

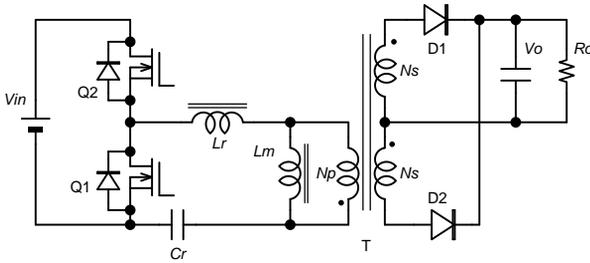


图1 LLC电流谐振转换器电路

8-2. LLC电流谐振转换器的工作原理

图1所示为LLC电流谐振转换器的电路。上管和下管开关元件Q₁和Q₂以50%的等占空比交替导通和关断。在该图中，Cr为谐振电容、Lr为谐振漏感、T为变压器、L_m为变压器的励磁电感。N_p为变压器初级绕组的绕组匝数，N_s为变压器次级绕组的绕组匝数。

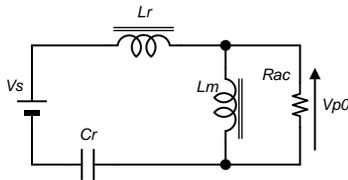


图2 LLC电路的等效电路

图2所示为LLC转换器的等效电路。输出电压表示为V_{p0}，转换至初级侧。负载电阻R₀表示为交流等效电阻R_{ac}，如公式(8.1)所示。

$$R_{ac} = \frac{8}{\pi^2} n^2 \frac{V_0}{I_0} = \frac{8n^2}{\pi^2} R_0 \quad (8.1)$$

n为变压器的匝数比，如公式(8.2)所示。

$$n = \frac{N_p}{N_s} \quad (8.2)$$

利用等效电路可从公式(8.3)中得出输入输出电压比（称为电压增益）。

$$\frac{V_{p0}}{V_s} = \frac{1}{1 + \frac{L_r}{L_m} \left(1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2}\right) + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \quad (8.3)$$

ω为角频率，相应的参数如下列公式所示。

$$\omega = 2\pi f_s \quad (8.4)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (8.5)$$

$$Q = \sqrt{\frac{L_r}{C_r} \frac{1}{R_{ac}}} \quad (8.6)$$

图1中LLC电流谐振转换器为半桥转换器，图2中所示等效电路的输入电压也变为为一半，如下：

$$V_s = \frac{V_{IN}}{2} \quad (8.7)$$

示例：

以下条件下，计算结果如图3和4所示。

- 输入电压V_{IN} 400V
- 输出电压V_O 24V
- 输出电流I_O 8A(R_O=3Ω)
- 变压器的匝数比n 9
- 励磁电感L_m 700μH
- 漏感L_r 100μH
- 谐振电容C_r 0.033μF

图3所示为利用公式(8.3)得出的电压增益与开关频率f_s之间的关系，负载电阻R₀为变量。f_s增大时，电压增益也随之增大，达到最大值后，开始逐渐减小。

通过公式(8.5)可得出谐振频率f₀，f_s等于f₀时，电压增益变为1。

LLC转换器在最大电压增益频率和f₀之间的频率范围内工作。换言之，LLC谐振转换器在增压模式下工作，此时电压增益始终大于1。

如图3所示，负载电阻R₀变大时，电压增益变大。此外，负载电阻R₀变小时，最大增益频率稍微变大。

图4所示为利用公式(8.3)得出的电压增益与开关频率 f_s 之间的关系，变压器励磁电感 L_m 为变量。 L_m 变小时，电压增益变大。此外， L_m 变大时，最大电压增益频率变小。

因此，输入电压最低时，计算电压增益并确定 L_m ，以便得出输出电压额定值。

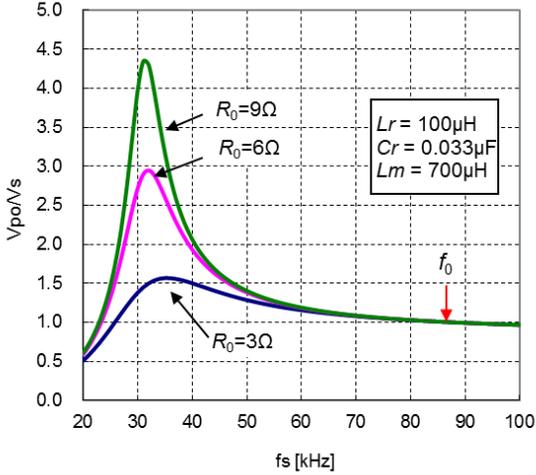


图3 输出输入电压比特性

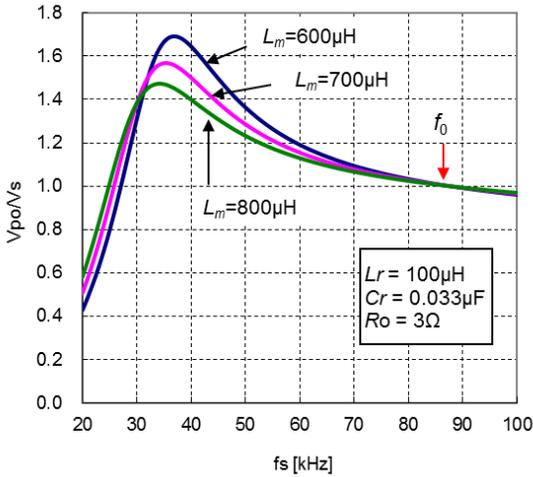


图4 输出输入电压比特性

8-3. LLC电流谐振转换器的变压器设计

如上所述，LLC电流谐振转换器在增压模式下工作，且即使输入电压为最大值也需确定电压增益，以便在增压模式下工作。首先，获得次级绕组的绕组匝数，然后确定初级绕组的绕组匝数。由于谐振频率 f_0 会变为最大开关频率，因此应预先在未超过IC最大频率的范围内确定。

- (1) 利用下列公式(8.8)计算变压器次级绕组的绕组匝数 N_s 。

$$N_s = \frac{(V_o + V_F)T_{on}}{2A_e B_m} \quad (8.8)$$

V_o 为输出电压[V]， V_F 为整流二极管的正向电压跌落[V]， T_{on} 为开关元件的最大导通时间（等于最小开关频率对应周期的1/2）， A_e 为变压器铁芯的有效横截面积[cm²]， B_m 为铁芯磁通密度[T]的不饱和值。

- (2) 利用公式(8.9)计算变压器初级绕组与次级绕组的匝数比 n ，以便在输入电压最高时也能在增压模式下使转换器工作。 V_s 为最大输入电压。

$$n = \frac{N_p}{N_s} \geq \frac{V_s}{(V_o + V_F)} \quad (8.9)$$

- (3) 利用公式(8.10)计算变压器初级绕组的绕组匝数。

$$N_p = nN_s \quad (8.10)$$

- (4) 计算漏感 L_r

在该转换器中，将变压器的漏感用作谐振电感。通过初级绕组的绕组匝数 N_p ，可计算初级绕组的漏感 L_r 。除变压器外，不建议单独连接其他谐振电感。

- (5) 确定谐振电容 C_r

根据谐振频率 f_0 和 L_r ，利用公式(8.5)计算谐振电容 C_r 。

- (6) 确定励磁电感 L_m

计算电压增益，以便得出输出电压额定值，并确定输入电压最低时的 L_m 。此状态下，开关频率最小。由于变压器的初级绕组电感包括漏感，因此初级绕组电感等于 L_m 与 L_r 一半的和。

利用公式(8.11)计算变压器铁芯的间隙 l_g 。

$$l_g = \frac{\mu_0 A_e N_p^2}{L_m} - \frac{l_e}{\mu_c} \quad (8.11)$$

μ_0 为真空的绝对磁导率(=4π×10⁻⁷ H/m)， μ_c 为振幅磁导率(=3000)， l_e 为有效磁路(mm)。

示例:

如下所示为变压器设计示例:

- 输入电压 V_{IN} 360V(min 340V to max 390V)
- 输出电压 V_o 24V
- 输出电流 I_o 8A($R_o=3\Omega$)
- 选定的变压器 EER35
 $A_e=107.0\text{mm}^2$
 $l_e=90.8\text{mm}$
 $B_m=0.35(\text{T})$
 约100kHz
- 谐振频率 约100kHz
- 最小开关频率 60kHz($T_{on}=8.3\mu\text{s}$)
- 整流二极管的正向电压跌落 $V_F=1.0\text{V}$

(1) 整流二极管的正向电压降 N_s (公式(8.8))

$$N_s = \frac{(V_o + V_F)T_{om}}{2A_e B_m} = \frac{(24+1) \times 8.3}{2 \times 107 \times 0.25} = 3.88 \Rightarrow 4$$

(2) 变压器的匝数比 n (公式(8.9))

$$n = \frac{N_p}{N_s} \geq \frac{V_s}{(V_o + V_F)} = \frac{195}{(24+1)} = 7.8$$

(3) 变压器初级绕组的绕组匝数 N_p (公式(8.10))

$$N_p = nN_s = 7.8 \times 4 = 31.2 \Rightarrow 32$$

因此, $n=8$

(4) 计算变压器漏感 L_r

由于EER35变压器每匝绕组的漏感为72(nH)因此初级绕组的绕组匝数(N_p)为32时, 漏感为73.7(μH) ($=32^2 \times 72\text{nH}$)。

(5) 确定谐振电容 C_r

将 $f_o=100\text{kHz}$ 和 $L_r=73.7(\mu\text{H})$ 代入公式(8.5)计算 C_r , 而得出0.033 μF 。

(6) 确定励磁电感 L_m

计算输入电压最低, 输出电压为额定值时的 L_m 。输入电压为340V(min)时, 按照下列公式利用变压器匝数比计算输入和输出电压比。

$$\frac{V_{P0}}{V_s} = \frac{V_o + V_F}{\frac{N_s}{N_p} \frac{V_{IN}}{2}} = \frac{24+1}{\frac{4}{32} \frac{340}{2}} = 1.17 \Rightarrow 1.2$$

开关频率最低(此时, $f_s=60\text{kHz}$)时, 利用公式(8.3)计算电压增益为1.2或更高时的 L_m 。

因此, 如果 L_m 为600 μH 或更低, 则可接受。如果 $L_m=600\mu\text{H}$, 则利用公式(8.11)计算变压器芯间隙 l_g , 通过如下计算可得到的值约为0.2mm。

$$l_g = \frac{\mu_0 A_e N_p^2}{L_m} - \frac{l_e}{\mu_c} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 107 \times 32^2}{600} - \frac{90.8 \times 10^{-3}}{3000} \cong 0.2 \times 10^{-3}$$

8-4. 容性模式

图5所示为基于LLC电流谐振转换器中开关频率 f_s 的电压增益。如图5所示, 最大增益频率与高低频率区域之间的工作模式不同。

频率低于最高电压增益频率的区域称为容性区域, 且在转换期间短路电流可能同时流过半桥电路的高侧和低侧开关(该现象称为直通)。在此情况下, MOSFET可能损坏。因此, 通常转换器在频率高于最高电压增益频率的区域内工作, 以防引起直通。

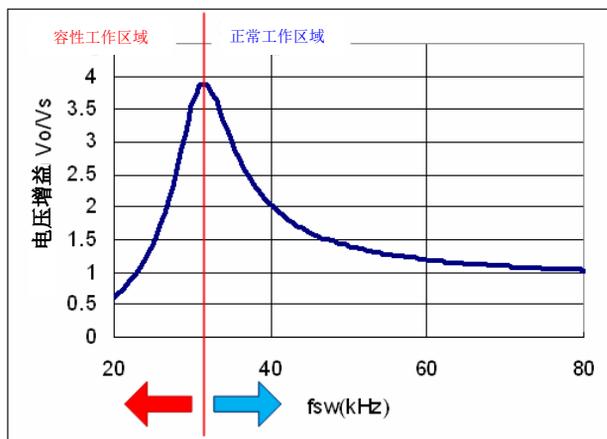


图5 LLC工作模式

(1) 容性区域工作情况

如果频率变低，容性模式工作开启。Q₁导通时，电流I_{D1}达到最大值后开始减小，最终导致谐振电流I_{cr}由正转负(即反向)，I_{D1}也由正转负。(d)

在此状态下，Q₁关断时，电流流经Q₁的寄生二极管。另一侧的Q₂导通时，Q₁的寄生二极管进入反向恢复状态并可能损坏。(c)

Q₂导通时，电流I_{D2}达到最大值后开始减小，最终导致谐振电流I_{cr}由负转正，而I_{D2}由正转负。(b)

在此状态下，如果Q₂关断，则电流流经Q₂的寄生二极管。另一侧的Q₁导通时，Q₂的寄生二极管进入反向恢复状态并可能损坏。(a)

(2) 正常区域工作情况

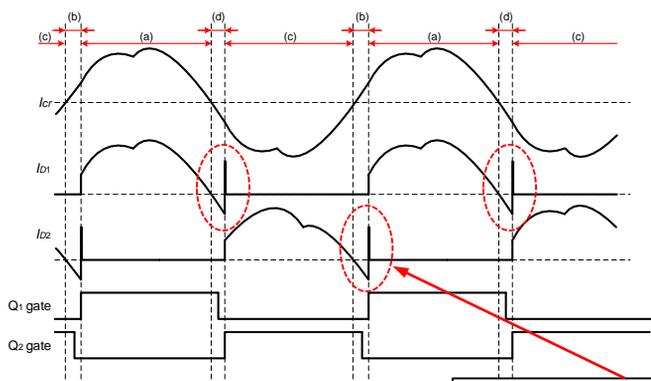
转换器通常用于下列工作条件。

Q₁导通时，电流I_{D1}在达到最大值后开始减小。(a) 在I_{D1}还处于正向流通时已关断Q₁，则电流流经Q₂侧。另一侧的Q₂导通，谐振电流I_{cr}持续改变。(b) Q₂导通时，电流I_{D2}由负转正，并在达到最大值后开始减小。(c)

在I_{D2}还处于正向流通时关断Q₂，则电流流经Q₁侧。另一侧的Q₁导通，谐振电流I_{cr}持续改变。(d)

重复上述工作，可产生谐振电流I_{cr}。

换言之，Q₁和Q₂的电流I_{D1}和I_{D2}变负前，MOSFET关断并切换为另一侧的MOSFET。因此，不会出现直通的情况。



通过电流由于容性区域工作

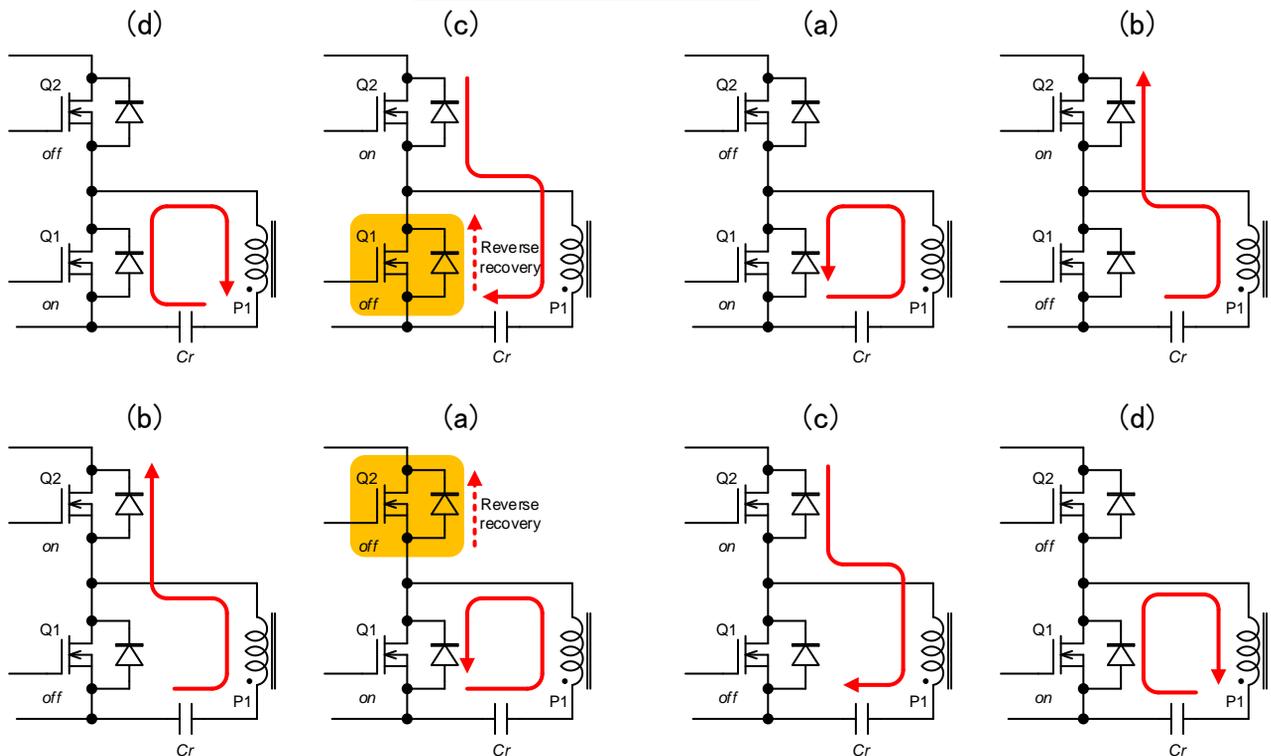
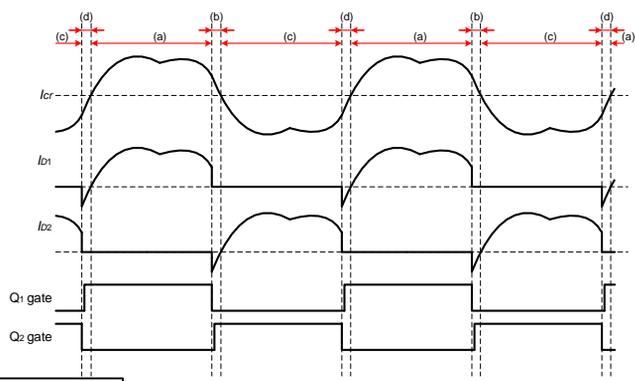


图6 容性区域工作波形

图7 正常区域工作波形

9. IC功能描述 (下面描述的值均为典型值, 除非另有说明。)

(1)功能列表

表示FA6C21N中内置的功能。

(1)-1.电源系统

	功能	引脚	概述
1	启动电路	VH、VCC	从启动电路的VCC引脚电源供给
2	VCC外部供给	VCC	从外部的VCC引脚电源供给
3	IC复位	VCC、LO	VCC电压下降时的IC复位
4	上管驱动器工作	VB、VS、HO	上管驱动器工作或停止

(1)-2.状态设定和判定

	功能	引脚	概述
1	状态设定功能	OST、MODE	设定各种工作模式
2	输入电压检测	VH	判定AC输入电压 100V/200V

(1)-3.控制

	功能	引脚	概述
1	正常控制		连续开关控制 (相位比控制)
2	高频突发控制		短周期 (20kHz以上) 的突发控制
3	低频突发控制		长周期的突发控制 (待机工作)
4	负载检测	CA、IS、INM	通过IS、CA、INM引脚进行输入功率检测
5	自动工作模式切换	CA、FB	通过输入/输出功率检测进行LLC工作模式自动切换
6	通过外部信号进行工作模式切换	CA	通过CA引脚进行正常/待机的切换
7	PFC工作模式切换	CA、FB	通过输入/输出功率检测进行PFC工作模式自动切换
8	PFC通信功能	OST	发送从LLC到PFC的工作模式切换信号
9	软启动		启动时的软启动功能
10	下管驱动器	LO	下管MOSFET驱动
11	上管驱动器	HO	上管MOSFET驱动

(1)-4.保护功能

	功能	引脚	概述
1	CA引脚过载保护	CA	输入功率上升时的开关停止
2	FB引脚过载保护	FB	FB电压上升时的开关停止
3	IS引脚过电流保护	IS	各开关的过电流限制、过电流状态继续时开关停止
4	VCC引脚过电压保护	VCC	VCC电压上升时的开关停止
5	VH引脚BROWN-IN/OUT	VH	VH引脚电压上升时的开关开始、下降时的开关停止
6	INM引脚BROWN-IN/OUT	INM	INM引脚电压上升时的开关开始、下降时的开关停止
7	MODE引脚外部异常输入	MODE	MODE引脚下拉时的开关停止
8	过热保护	内置	结温上升时的开关停止
9	VCC电压跌落保护	VCC	VCC电压跌落时防止IC复位
10	防止进入容性区间功能	IS、VW	强行关断防谐振电流逆流
11	最短死区时间	HO、LO	HO、LO的开关OFF期间
12	死区时间自动调整	HO、LO、VW	谐振电流不成立时延长开启延长时间
13	X电容放电功能	VH	VH电压(AC)切断时的VH引脚放电功能

(2)状态设定功能

启动时，施加输入电压且VCC电压上升至10V后，从MODE引脚及OST引脚输出恒定电流的状态设定拉电流。根据该拉电流和各引脚上连接的电阻所产生的电压来设定状态。

可从表1所示的6个项目中选择状态设定功能。

根据OST-GND间的电阻及MODE-GND间的电阻，从表2~表4中所示的28种状态设定中进行选择。

表1.状态设定功能列表

项目	选择次数	模式	备注
外部/自动待机	2	(1)自动待机、(2)外部待机	选择自动STB或外部STB
PFC种类	1	(1)FA1B20N	-
XCD功能	2	(1)有、(2)无	选择有无X电容放电功能
VW调整	2	(1)H电平、(2)L电平	低频突发工作时的变压器声音调整
CA_OLP电平	2	(1)H电平、(2)L电平	通过CA引脚选择OLP电平。
CA_工作模式	3	(1)H电平、(2)M电平、(3)L电平	选择各工作模式的切换功率。

*1 使用FA1B20N以外的PFC时，请务必选择外部待机。

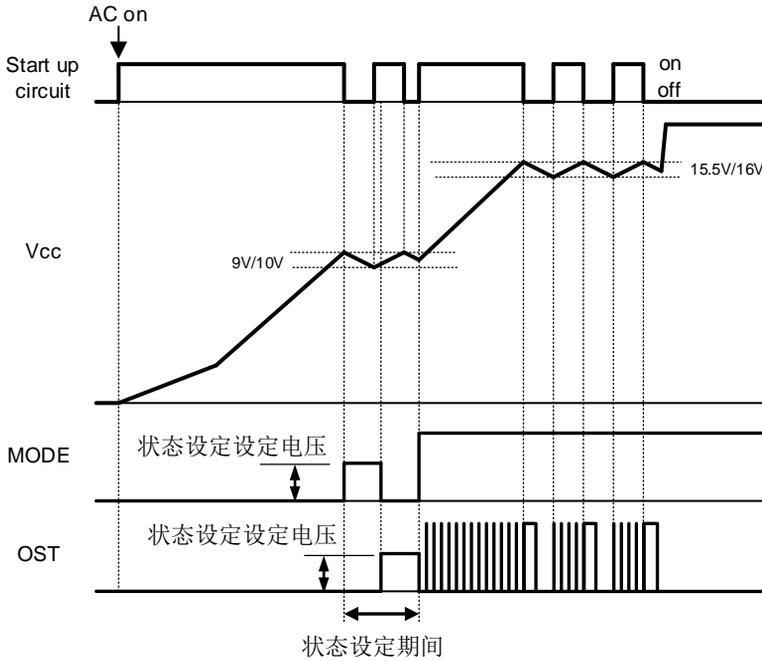


图8. 启动时状态设定

FA6C21N Datasheet

表2.状态设定功能列表（PFC：使用FA1B20）

Rank	R _{OST} [kΩ]	R _{MODE} [kΩ]	CA 工作模式	CA_OLP 电平	VW调整	XCD功能	外部/自动 STB	PFC种类
0	27	82	(1)H	(1)H	(1)H	(1)有	(1)自动 STB	FA1B20N
1	43		(2)M					
2	56		(3)L					
3	75		(1)H	(2)L				
4	100		(2)M					
5	130		(3)L					
6	180		(1)H	(1)H	(2)L			
7	240		(2)M					
8	300		(3)L					
9	390		(1)H	(2)L				
10	510		(2)M					
11	680		(3)L					
12	910	(1)H	(1)H	(2)无				
13	27	(2)M						
14	43	(3)L						
15	56	(1)H	(2)L					
16	75	(2)M						
17	100	(3)L						
18	130	(1)H	(1)H	(2)L				
19	180	(2)M						
20	240	(3)L						
21	300	(1)H	(2)L					
22	390	(2)M						
23	510	(3)L						

FA6C21N Datasheet

表3.状态设定功能列表（未定）

Rank	R _{OST} [kΩ]	R _{MODE} [kΩ]	CA 工作模式	CA_OLP 电平	VW调整	XCD功能	外部/自动 STB	PFC种类
24	680	150	此R _{OST} , R _{MODE} 组合, 请不要使用。					
25	910							
26	27	240						
27	43							
28	56							
29	75							
30	100							
31	130							
32	180							
33	240							
34	300							
35	390							
36	510							
37	680							
38	910							
39	27							
40	43							
41	56							
42	75							
43	100							
44	130							
45	180							
46	240							
47	300							

表4.状态设定功能列表（外部STB）

Rank	R _{OST} [kΩ]	R _{MODE} [kΩ]	CA 工作模式	CA_OLP 电平	VW调整	XCD功能	外部/自动 STB	PFC种类
48	390	390	-	-	(1)H	(1)有	(2)外部 STB	-
49	510		-	-	(2)L			
50	680		-	-	(1)H	(2)无		
51	910		-	-	(2)L			

(3)振荡频率

LLC电流谐振转换器通过频率调制控制输出电压。

该IC根据输入至FB引脚的电源次级侧输出电压的反馈信号和输入至IS引脚的初级侧电流信号，采用了决定工作频率的新控制方式。该控制方式，可实现电源的高速应答。(请参照图9)

标准工作频率为50kHz~150kHz。

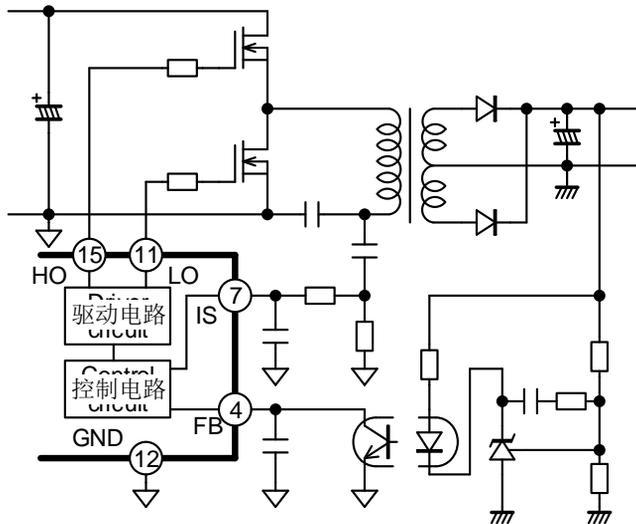


图9. 振荡频率控制电路

(4)软启动功能

启动时，内置的软启动功能，可使振荡频率从高状态逐渐下降。选择自动待机时，软启动如图10所示，选择外部待机时，软启动如图11所示。外部待机时，软启动时间因INM电压不同而异。软启动由IC内部电路构成，无法从外部进行调整。

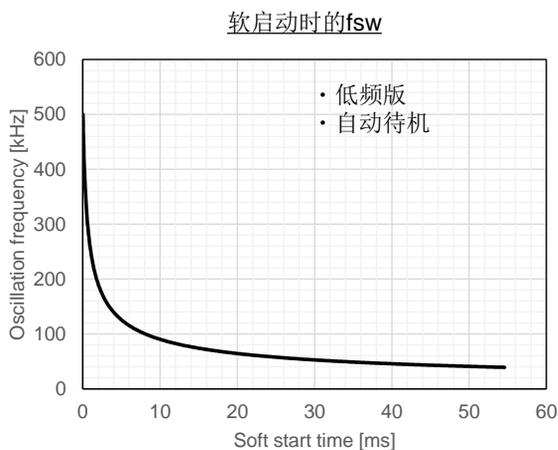


图10. 软启动工作 (自动待机)

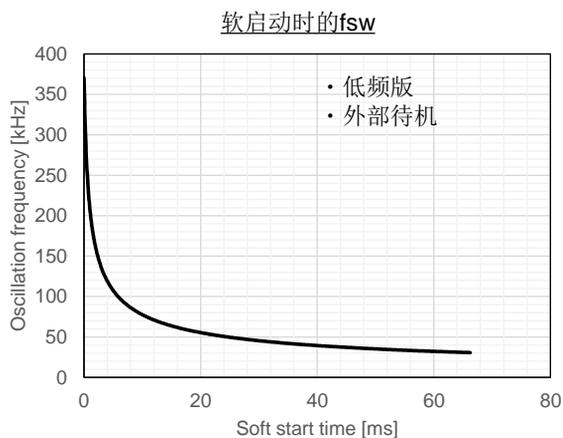


图11. 软启动工作 (外部待机)

(5)输入功率检测功能

该IC内置输入功率检测功能，可根据输入功率的状态自动选择工作模式。图12表示输入功率检测功能的外围电路图，图13表示IS引脚电压和CA引脚电压的特性图。

如图13所示，该IC的输入功率检测功能的输入电流检测上管MOSFET电流。通过IS引脚进行电流检测，并通过CA引脚和GND间连接的电容对检测到的电流进行平滑处理，且在CA引脚处产生与输入电流成比例的电压。

由于检测输入功率的CA电压取决于LLC的输入电压（Bulk电压），因此在IC内部根据输入电压进行补偿。

通过该输入功率检测功能检测负载功率，并可在无外部信号的情况下自动切换工作模式（低频突发模式/高频突发模式/正常模式）。另外，检测过载状态并进行保护。

如图13所示，CA引脚电压切换从IS引脚电压转换为CA引脚电压的增益，并扩大IC内部的CA引脚电压控制范围。另外，增益切换电压中设有以下迟滞。

- 负载增加时，CA引脚电压上升至2.0V，增益特性为IS电压的20倍。CA电压达到2.0V时，增益切换为10倍并降至1.0V。此外，增加负载，CA电压达到2.0V时，增益切换为5倍并降至1.0V。之后，保持5倍的增益。
- 负载减少时，CA引脚电压降至0.95V，增益特性为IS电压的5倍。CA电压达到0.95V时，增益切换为10倍并上升至1.9V。此外，减少负载，CA电压达到0.95V时，增益切换为20倍并上升至1.9V。之后，保持20倍的增益。

因CA-GND间有电阻, 因此增益可调整。

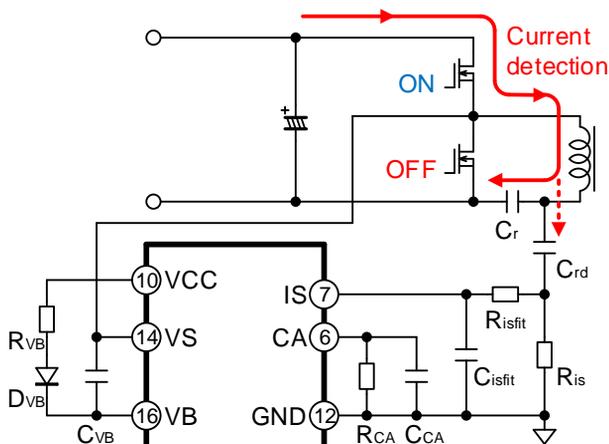


图12. 电流检测功能电路图

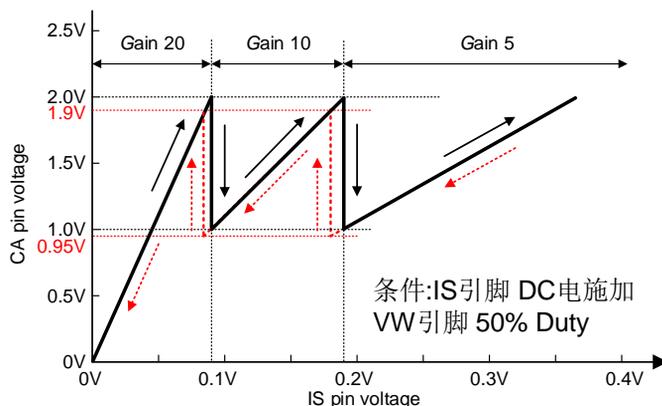


图13. IS引脚电压vs.CA引脚电压

(6)保护功能

表5表示FA6C21N中内置的保护功能。保护功能全部为自动恢复型。

表5. 保护功能列表

保护功能	FA6C21N	工作电平		延迟时间
		OLP level L	1.5V/1.4V (检测/解除)	
CA引脚过载保护	自动恢复	OLP level H	3.0V/2.85V (检测/解除)	38ms
FB引脚过载保护	自动恢复	4.3V/4.1V (检测/解除)		76.8ms
IS引脚过电流保护	自动恢复	$\pm 4.0V$ (检测)		10ms
VCC引脚过电压保护	锁死停止	28.5V (检测)		304us
VH引脚Brown-In/Out	自动恢复	90V / 60V		B/O:47ms
INM引脚Brown-In/Out	自动恢复	2.3V / 0.55V		B/I:160us, B/O:608us
MODE引脚外部保护信号	锁死停止	0.35V		60us
过热保护	自动恢复	140°C/115°C (检测/解除)		-
VCC引脚电压跌落保护	自动恢复	9.0V		-

(6)-1.CA引脚过载保护

CA引脚电压根据输出功率而变化。如果CA引脚电压超过状态设定中所设定的过载保护CA工作电压，且该状态持续的时间超过过载检测延迟时间(t_{OLPDL} : 38ms)，则强行停止开关。如果开关停止、没有辅助绕组的电压供给且VCC引脚电压降至12V以下，则启动电路工作且VCC引脚电压保持在12V至13V。停止开关，经过810ms后开关再次打开，但是，如果此时过载状态仍持续，则经过延迟时间后再次停止开关。请参照图15。

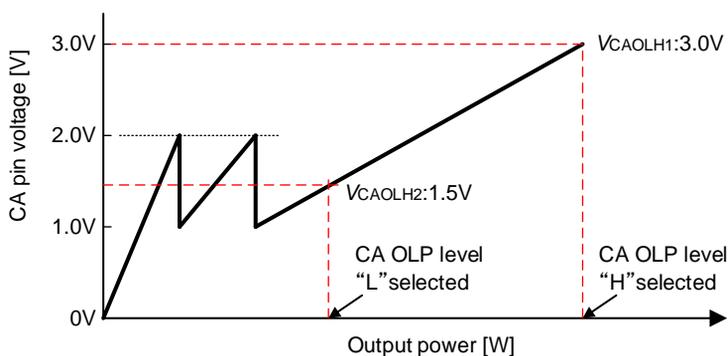


图14. CA引脚电压过载检测

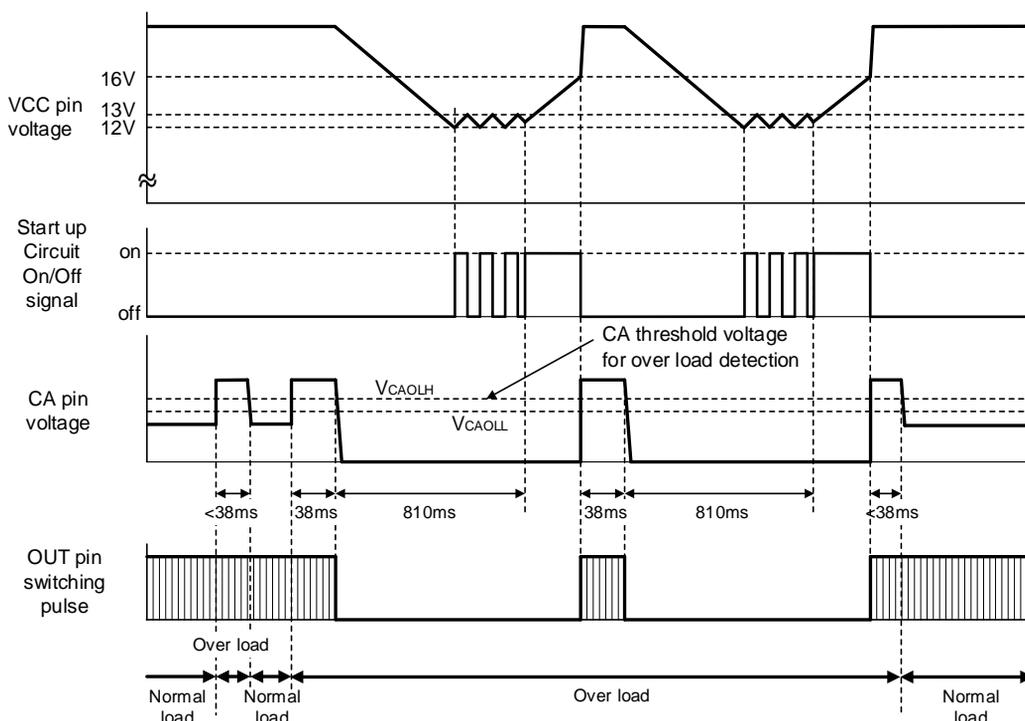


图15. CA引脚电压过载保护工作

(6)-2.FB引脚过载保护

输出功率上升且CA引脚电压达到过载保护CA工作电压前，如果FB引脚电压超过过载保护检测FB电压(V_{FBOLPH}: 4.3V)，且该状态持续的时间超过过载检测延迟时间(t_{OLPOF}: 76.8ms)，则强行停止开关。如果开关停止、没有辅助绕组的电压供给且VCC引脚电压降至12V以下，则启动电路工作且VCC引脚电压保持在12V至13V。停止开关，经过810ms后，VCC电压达到16V后开关再次打开，但是，如果此时过载状态仍持续，则经过延迟时间后再次停止开关。请参照图16。如果开关停止810ms后再次打开开关时INM引脚电压较低，则在INM电压上升后执行软启动进行重启，因此开关停止期间变为810ms以上。

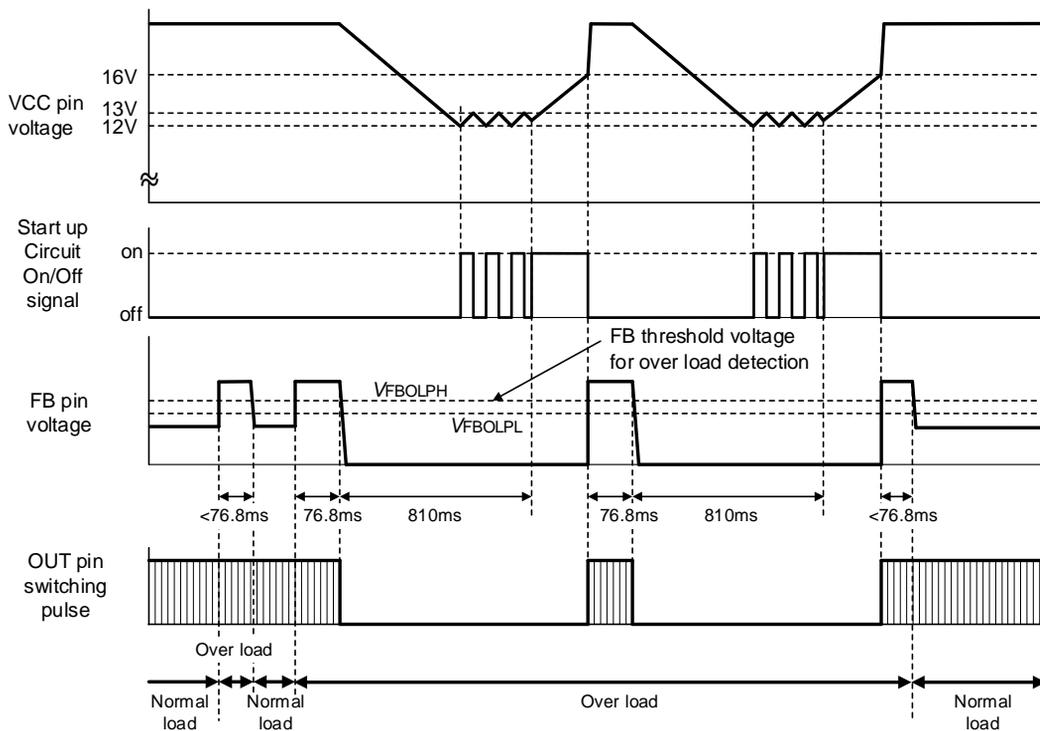


图16. FB引脚电压过载保护工作

(6)-3.IS引脚过电流保护

如图17所示，谐振电流通过分路电容和电流检测电阻输入至IS引脚。

如果IS引脚电压超过下管/上管过电流保护工作电压的范围，则各振荡周期关断。另外，如果超过下管/上管过电流保护工作电压，且该状态持续的时间超过过电流延迟时间，则强行停止开关。在过电流检测状态一直持续期间，如果存在过电流检测重置时间(t_{OCRST} : 76us)以上的未检测期间，则重置过电流检测。

过电流延迟时间固定为10ms。停止开关并经过810ms后再次开始开关，如果再次检测到过电流状态，则停止开关。请参照图18。

如果再次打开开关时INM引脚电压较低，则在INM电压上升后执行软启动进行重启，因此开关停止期间变为810ms以上。触发过电流保护的IS引脚电压为±4.0V。

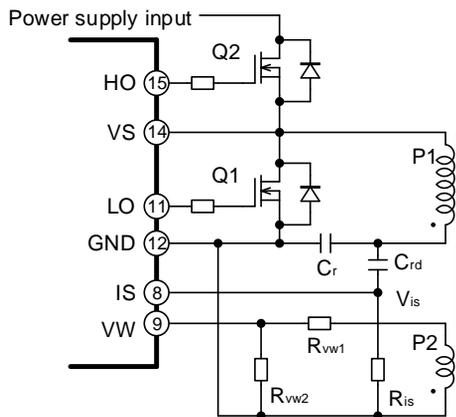


图17. IS引脚外围电路

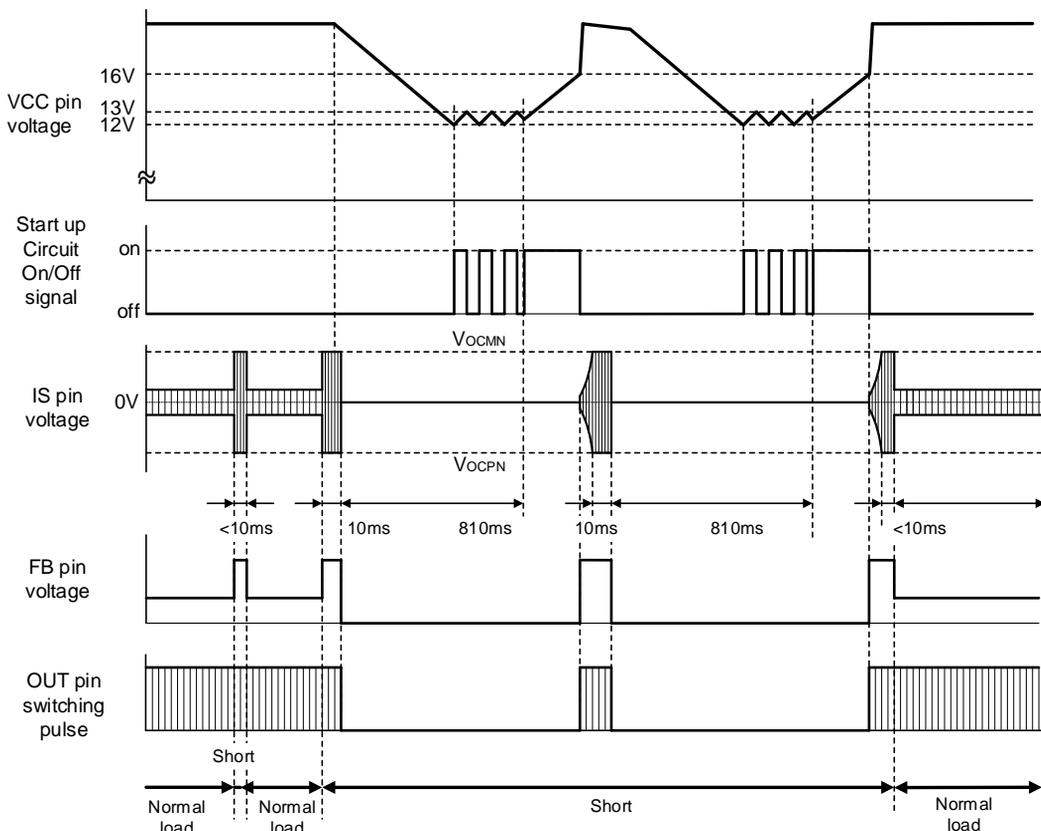


图18. IS引脚电压过电流保护工作

(6)-4.VCC引脚过电压保护

如果次级侧输出电压变为过电压状态，则辅助绕组电压也将上升。VCC引脚具有检测该辅助绕组电压的功能，如果VCC引脚电压超过过电压保护工作电压（ V_{CCOVPH} : 28.5V），且该状态在304us期间仍持续，则停止开关。在延迟时间304us以内且降至VCC过电压保护解除电压（ V_{CCOVPL} : 26.7V）以下时，过电压保护不工作。

(6)-5.VH引脚Brown-In/Out保护

内置有输入电压下降时停止开关的Brown-Out功能及输入电压达到某一电平前不会开始开关的VH引脚Brown-In功能。该功能直接监视VH引脚，即使低于Brown-Out电压（ V_{HBO} : 60V）也不会立即停止开关，经过Brown-Out检测延迟时间（ t_{DVHBO} : 47ms）后停止开关。此外，VH引脚电压超出Brown-In电压（ V_{HBI} : 90V）时，几乎没有延迟开始开关。Brown-Out功能工作时，通过启动电路的ON/OFF，将VCC引脚电压保持在12V至13V之间。请参照图19。

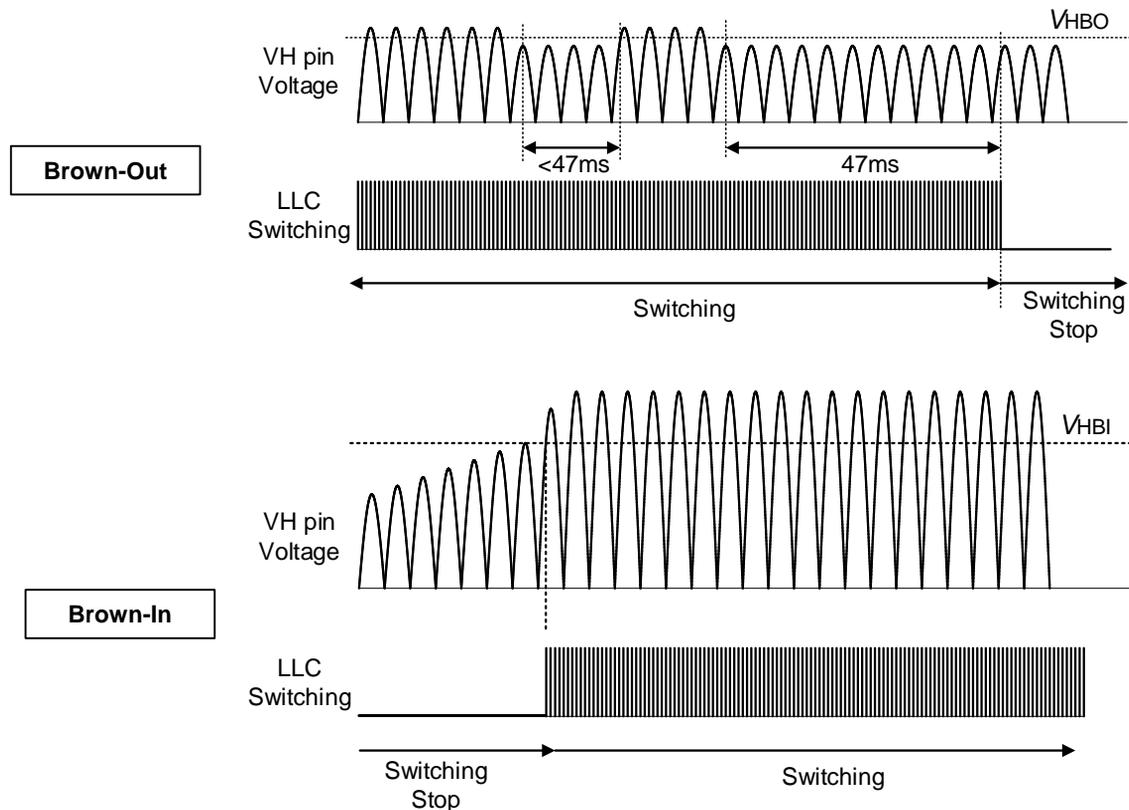


图19.VH引脚Brown-In/Brown-Out保护工作

(6)-6. INM引脚Brown-In/Out保护

由于INM引脚的输入是, AC输入电压经整流后的DC电压, 或经电阻分压后的PFC输出电压来控制Brown-in/out功能。

但, 因INM引脚是监测LLC回路的输入电压, 且对各特性的输入电压进行补偿, 因此Brown-in/out电压是不能随便设定。

(正常工作时的VINM电压请设定为2.6V. 例如: PFC Vo=390V时 RINMH+RINML:RINML=150:1)

INM引脚电压上升至Brown-in电压(VINMBI)以上后经过Brown-In检测延迟时间(tDINMBI:160us)后, 开始软启动并开始开关。

INM端子电压下降至Brown-out电压(VINMBO)以下后经过Brown-Out检测延迟时间(tDINMBO1:608us)后, 只要符合VH端子的Brown-out条件就会停止。请参照图21。

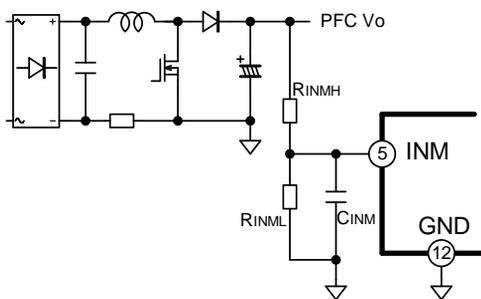


图20. INM引脚外围电路

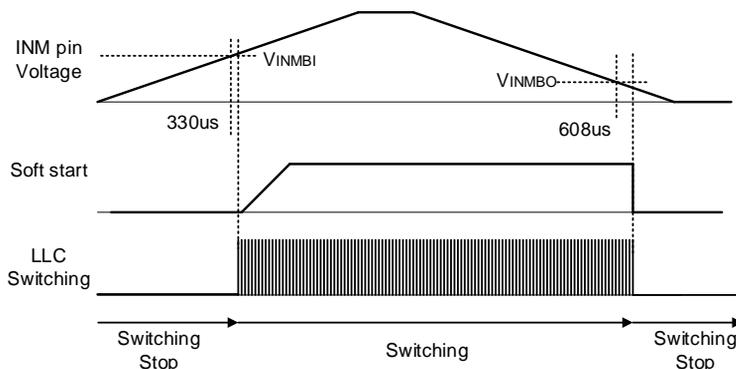


图21. INM引脚Brown-In/Brown-Out保护工作

(6)-7. MODE引脚外部故障停止保护

MODE引脚内置有通过外部信号停止开关的功能。将MODE引脚电压设为低于外部故障停止检测电压(VMODEST: 0.35V), 通过在超过外部故障停止延迟时间(tMODEDLY: 60us)期间进行下拉, 停止开关。停止开关时, VCC引脚电压通过启动电路保持在12V至13V之间。

(6)-8. 过热保护

IC结温达到过热保护工作温度(TJOH: 140°C)以上时, 停止开关。结温降至过热保护解除温度(TJOHR: 115°C)以下时, 再次开始开关。

(6)-9. VCC引脚电压跌落保护

由于负载短路等, 通过辅助绕组无法维持VCC引脚电压, VCC引脚电压低于跌落保护工作电压(VDVCCL: 9V)时停止开关, 并通过启动电路维持VCC引脚电压在12V至13V之间。停止开关并经过810ms后, IC再次开始开关。

同时, 也检测上管电源电压VB引脚和VS引脚之间的电压, VB引脚和VS引脚之间的电压超过VBS工作开始电压(VBSON: 8.8V)时, 开始工作, 低于VBS工作停止电压(VBSOFF: 7.5V)时, 停止工作。

(7)输入电压检测

通过VH引脚监视电源输入电压并识别低压输入和高压输入。

将该输入电压电平的信息发送至PFC-IC, 实现PFC-IC的最佳工作。

表6. 输入电压检测值

项目	条件	典型
高压模式检测电压	VH电压上升时	225.0Vdc
		159.1Vac
低压模式检测电压	VH电压下降时	210.2Vdc
		148.6Vac
延迟时间	低压⇒高压	1.78ms
	高压⇒低压	14.7ms

(8) 入力電圧補正

通过INM引脚监测LLC的输入电压, 且对各特性的输入电压进行补偿。

用作补偿的INM引脚电压的区分方法(电压Rank)有两种(A系列/B系列), 是按补偿的特性作分类。

可利用INM电压作补偿的特性如下。按不同INM电压下的特性请参考“6. 定格和特性 (3) 电气特性(DC特性)”。

INM电压和INM电压Rank的关系, 请参照图22。

表7. 适用于输入电压补偿的电气特性

电气特性	适用于补偿的项目	INM电压Rank
高频突发控制 (请参照P13、(3)-15)	1st LO关断VW检测电压	Rank A
	2nd HO关断VW检测电压	
低频突发控制 (自动待机、PFC工作) (请参照P15、(3)-16)	下管VW峰值功率控制电压	
	上管VW峰值功率控制电压	
软启动工作 (请参照P7、(3)-8)	开始ON宽度	Rank B
	最大ON宽度	
	开始ON宽度	
	最大ON宽度	
	开始ON宽度	
低频突发控制 (外部STB) (请参照P16、(3)-17)	突发软启动开始ON宽度	Rank B
	突发软结束停止ON宽度	
	突发ON宽度阶跃时间	
	下管VW峰值功率控制电压	
	上管VW峰值功率控制电压	
防止进入容性区间功能 (请参照P17、(3)-18)	下管强行关断VW引脚检测电压	Rank B
	上管强行关断VW引脚检测电压	
	下管强行关断IS引脚检测电压	
	上管强行关断IS引脚检测电压	

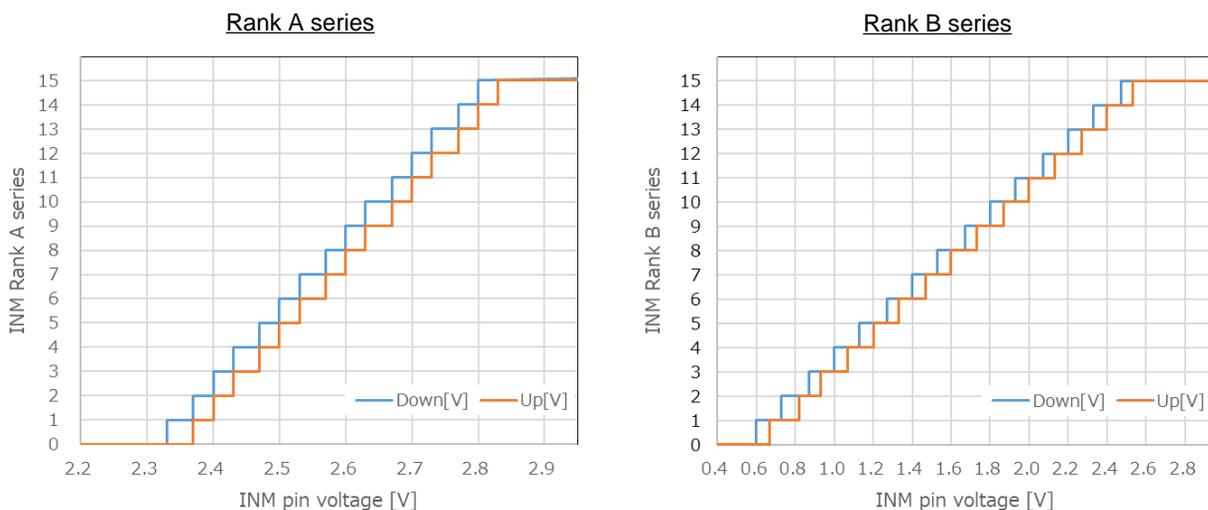


图22. INM电压与INM Rank关系

(9)工作模式切换功能

根据负载状态和外部信号，可在正常、高频突发、低频突发三种模式间切换LLC-IC工作模式。各工作模式下的波形，请参照图23。

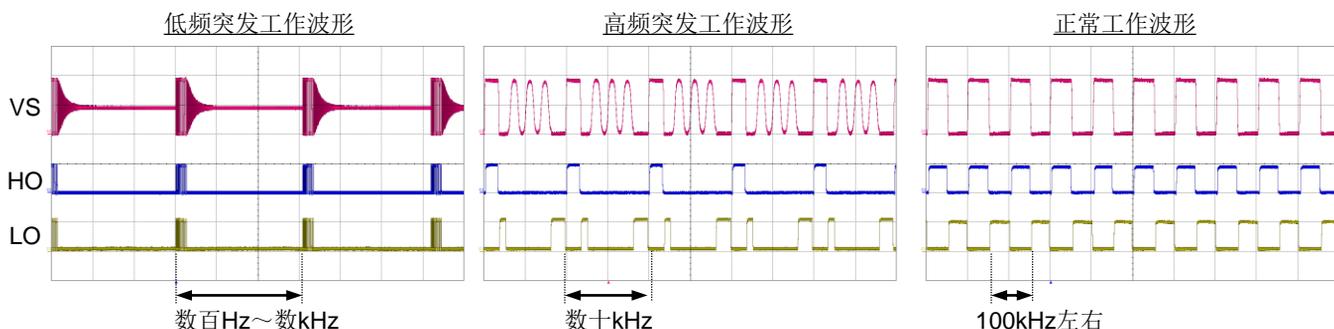


图23. 各工作模式波形

再者，按负载的变化，在轻载时PFC-IC可以进入突发模式。(OST端子)

自动待机设定定时，通过CA引脚电压检出负载状态，自动切换这三个工作模式。请参照图24。

外部待机设定定时，正常工作模式与高频突发模式为自动切换，而切换至低频突发模式则是通过外部信号上拉CA引脚电压至待机工作检测CA电压($V_{THCASTH}$:3.8V)以上令其切换。

如图25所示，中段负载下因高频突发模式，工作效率在中段负载时实现了效率提升。

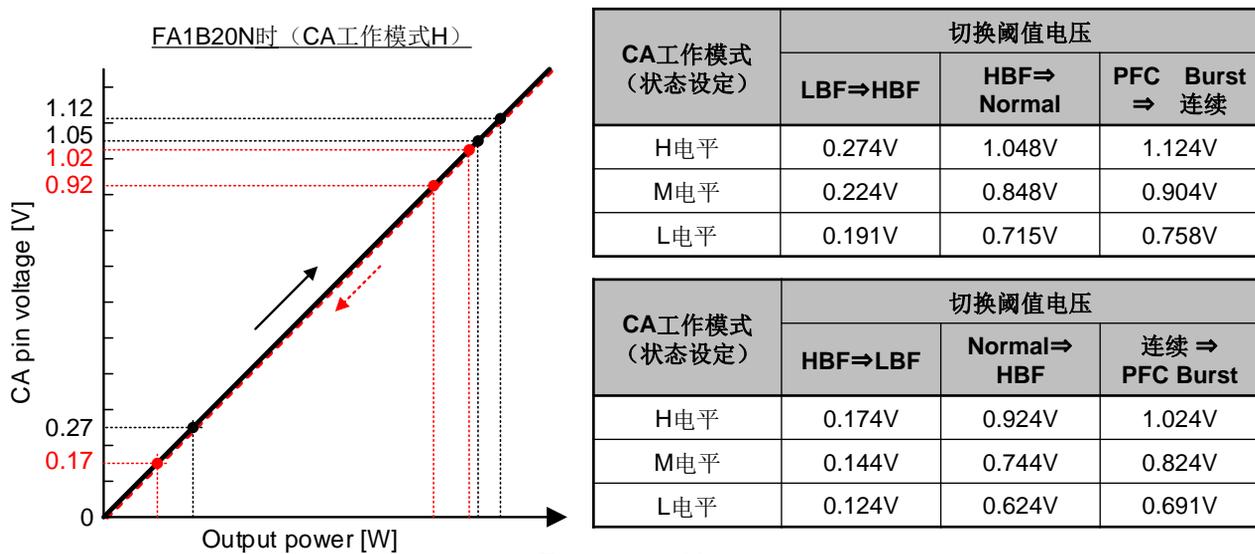


图24. 工作模式切换

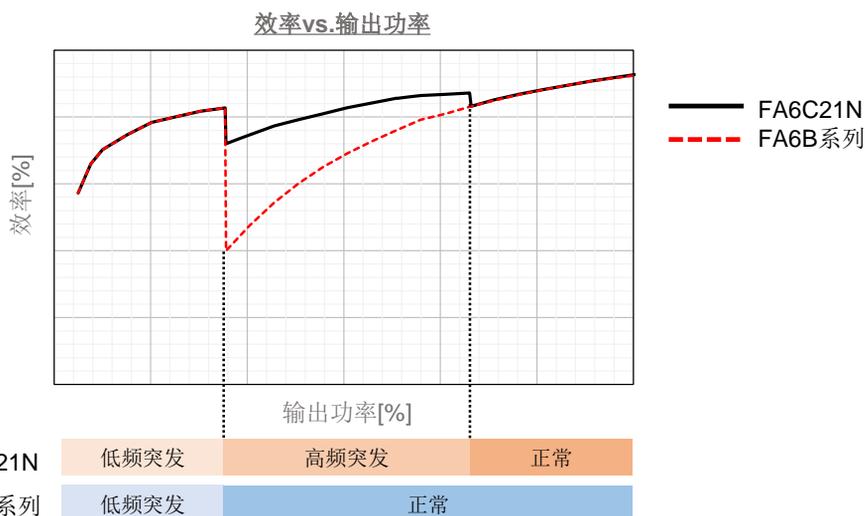


图25. 高频突发工作的效果

(9)-1.低频突发工作

LLC电流谐振变换器在原理上在轻载时效率会恶化，在无载时也会发生数W的损失。而本IC是通过正常工作模式与待机模式(低频突发)的切换，令LLC在突发模式下工作，实现低待机功耗。

低频突发模式是通过检测VW引脚电压，在采用峰值功率控制和删除突发模式下无效的开关令轻载效率与变压器的异音问题可以达到最佳效果。请参照图26。

但是，在外部待机模式下，突发模式的无效开关则会发生。

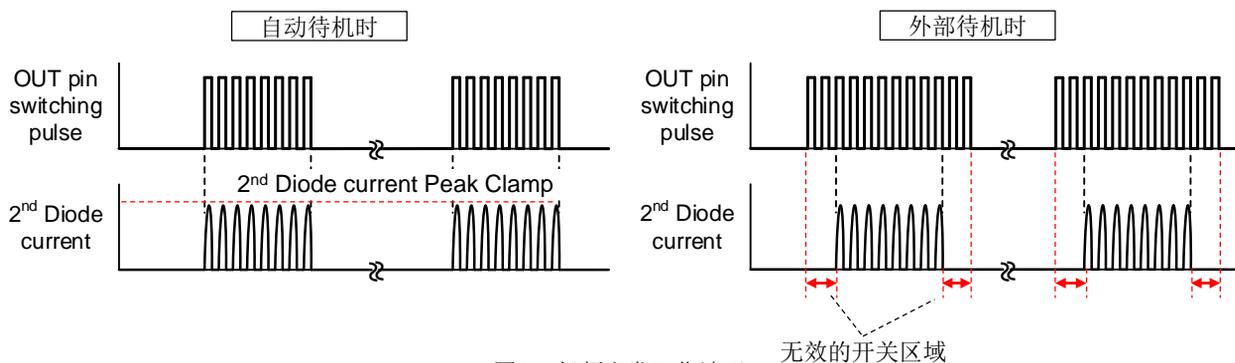


图26. 低频突发工作波形

(9)-2.高频突发工作

轻负载时，采用3个脉冲+停止期间的高频突发控制，从突发停止期间返回时的第1脉冲在VS引脚电压的底部接通，以实现轻负载时的高效化。请参照图27。

突发频率限制在22kHz(min.)以上，另外，通过突发停止期间VS Bottom数固定控制，消除混杂的Bottom数并防止噪音。正常工作时，根据CA引脚电压控制Bottom数，负载突变时，通过FB引脚电压进行Bottom数固定控制。请参照图28。

Bottom数选择Nbot_CA和Nbot_FB中的较小者。

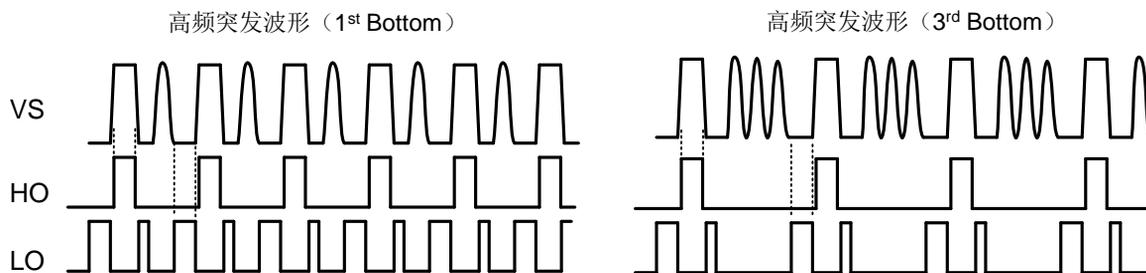
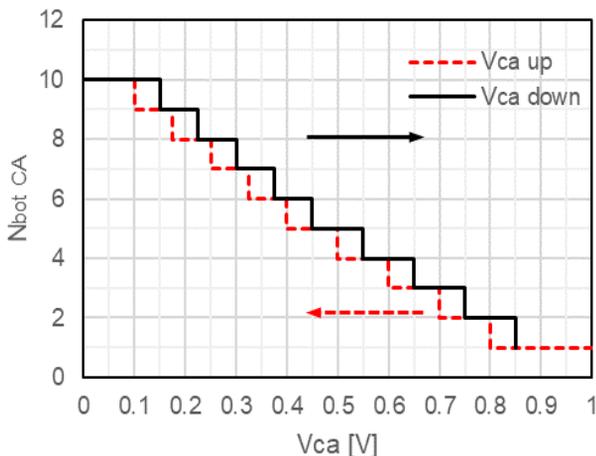


图27. 高频突发工作波形

CA电压和Bottom数 (CA工作模式: H电平)



FB电压和Bottom数

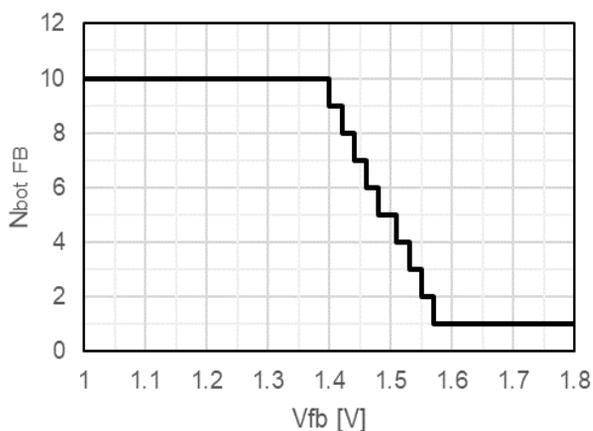


图28. Bottom数 vs. CA电压, FB电压

(9)-3 工作模式的切换时序

记载了各工作方式下的工作模式的切换时序。

(9-3-1) 自动切换方式

图29表示以自动切换方式切换时的工作时序。

[输出功率下降时的模式切换]

输出功率逐渐减小，CA引脚电压根据输出功率而下降。CA引脚电压降至高频突发检测CA电压(V_{CHFD})时，高频突发工作延迟时间(t_{D_HBA} : 108ms)后，将从正常工作变为高频突发工作。高频突发工作时的跳谷根据CA电压变化。输出功率下降且CA引脚电压降至低频突发检测CA电压(V_{CLFAD})时，开始低频突发工作。经过延迟时间低频突发工作延迟时间(t_{D_LBA} : 108ms)后，进行工作模式切换。

另外，CA引脚电压降至PFC突发检测CA电压(V_{CPFCAD})时，经过PFC突发工作延迟时间108ms后，从OST引脚输出信号。如果该信号使用富士电机株式会社PFC IC FA1B20N，则PFC也可从连续工作切换至突发工作。

[输出功率上升时的模式切换]

输出功率逐渐增大，CA引脚电压根据输出功率而上升。CA引脚电压上升至低频突发解除CA电压(V_{CLFAR})时，几乎没有延迟将从低频突发工作变为高频突发工作。从低频突发工作切换至高频突发工作时，108ms期间为正常工作。高频突发工作时的跳谷根据CA电压变化。输出功率进一步增大且CA引脚电压上升至高频突发解除CA电压(V_{CHFR})时，几乎没有延迟切换为正常模式。切换工作模式基本上没有时间延迟。

另外，CA引脚电压上升至PFC突发解除CA电压(V_{CPFCAR})时，从OST引脚输出信号。如果该信号使用富士电机株式会社PFC IC FA1B20N，则PFC也可从突发工作切换至连续工作。

另外，输出功率突然变化时，也可能不进行高频突发工作。

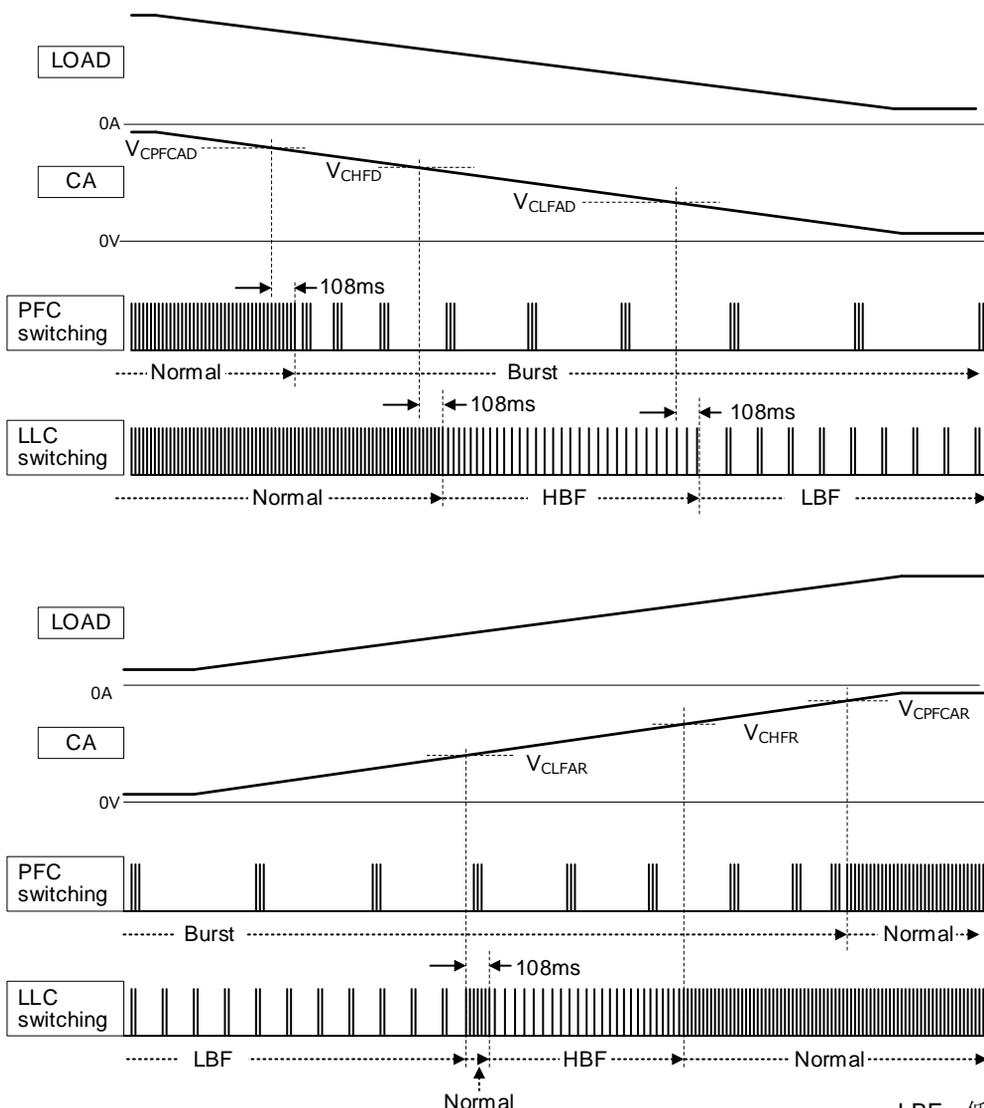


图29. 工作模式切换时序 (自动切换)

LBF: 低频突发
HBF: 高频突发

(9-3-2)通过FB引脚从低频突发工作切换至正常工作

各工作模式的切换是由CA引脚检测，由于取自初级输入功率的平均值，因此需要接上电容。因接上此电容，在负载急变下CA引脚电压的上升会发生延迟。

在负载急变时，当从低频突发切换至正常工作模式时，如在此延迟时间后切换至正常工作模式的话，有可能发生重载下的低频突发模式，令输出电压有纹波产生。

作为对策，本IC会监测负载急变下的FB引脚电压，就算在CA引脚电压未达到切换至正常工作模式的水平，只要FB引脚电压到达正常工作快速恢复FB电压($V_{FBNRM}:2.0V$)，IC内置功能就会立即切换至正常工作模式。请参照图30。

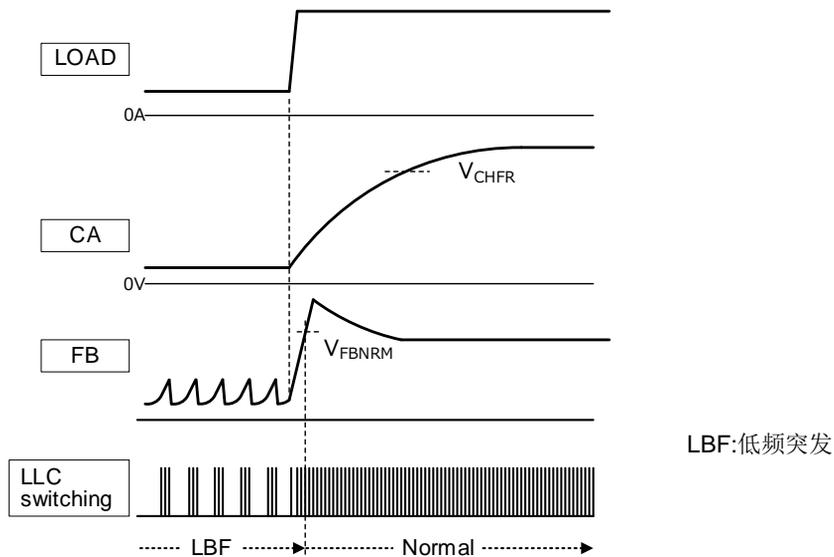


图30. 通过FB电压切换工作模式

另外，即便是负载急变下FB引脚电压没有急速上升，只要突发停止时间在100us以下的期间有3个周期，也会切换至正常工作模式。

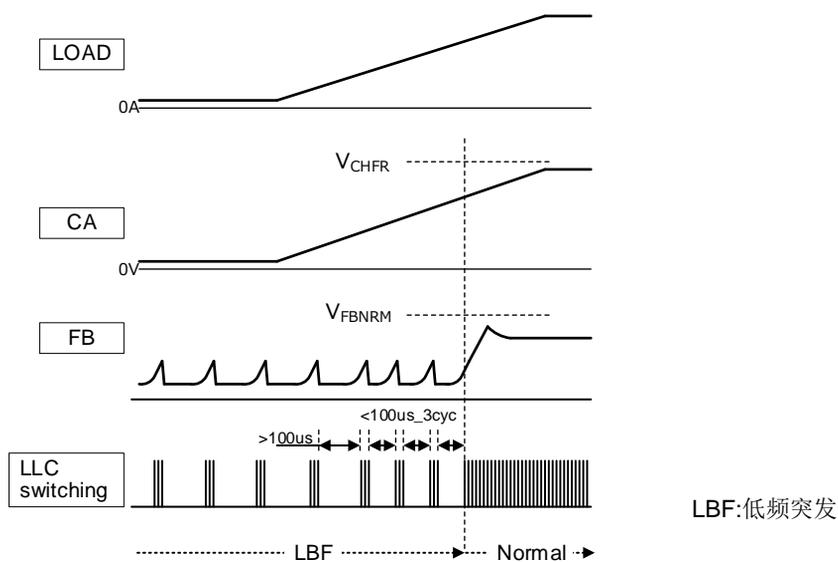


图31. 突发停止期间的工作模式切换

(9-3-3)外部切换方式

图32为外部切换的电路图。如外部切换的话，切换至突发模式需要由外部上拉CA引脚。

图33为外部切换模式下的工作时序。

外部切换时，由于没有发送给PFC-IC信号，PFC-IC不会强制进入突发模式。因此，为了降低待机功耗，建议在待机工作时请如图32把PFC-IC的电源电压作关断。

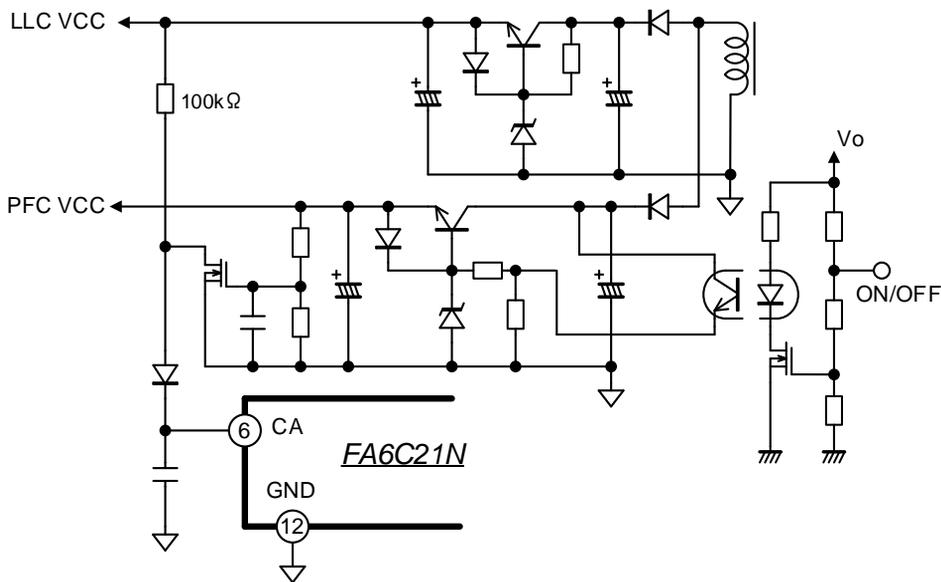


图32. 外部STB电路图

[从正常工作切换至低频突发]

通过外部信号上拉，CA引脚电压上升至待机工作检测CA电压（ $V_{THCASTH}$ ：3.8V）以上时，经过待机工作切换延迟时间108ms后，从正常工作切换至低频突发工作。

[从低频突发切换正常工作]

通过外部信号释放上拉的CA引脚电压，CA引脚电压降至待机工作解除CA电压（ $V_{THCASTL}$ ：3.7V）以下时，从低频突发工作切换至正常工作，基本上没有时间延迟。

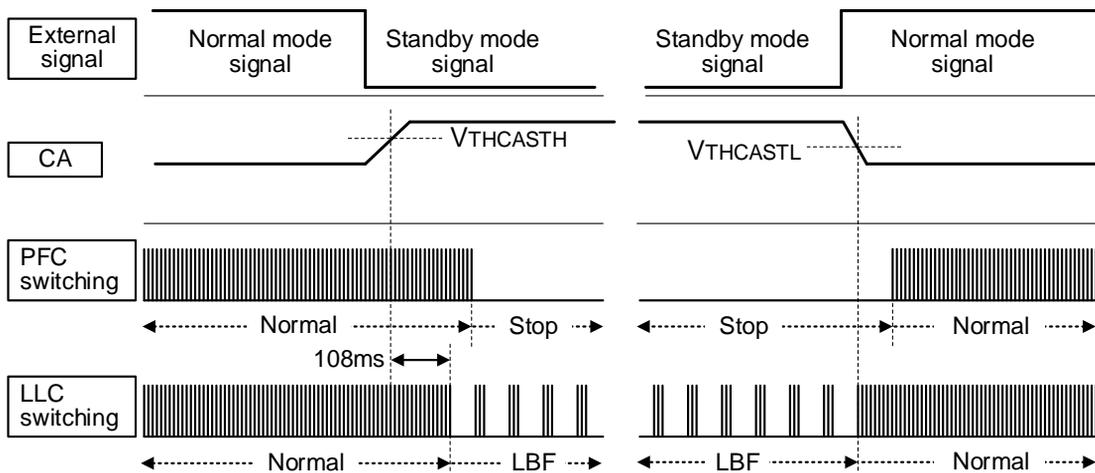


图33. 工作模式切换时序（外部切换）

LBF:低频突发

(10) DSS (动态自供电) 功能

DSS功能可在VCC引脚电压下降时打开/关闭IC内部的启动电路，并将VCC引脚电压保持在特定范围内。在该IC中，VCC引脚电压低于启动电流供给开始电压(VSTON: 12V)时，启动电路工作且VCC引脚电压上升。另外，VCC引脚电压达到启动电流停止电压(VSTOFF: 13V)时，停止启动电路。在保护功能工作时，如果VCC引脚电压低于启动电流供给开始电压，则DSS功能工作。

在正常开关状态下，仅通过启动电路供给的电流无法使IC保持工作，因此必须从辅助绕组向VCC引脚供给电压。

(11) AC切断时输入滤波器X电容(X-CAP)的放电功能

通过全波整流从AC输入部连接VH引脚，AC输入切断时可选择使输入滤波器的X电容放电的功能。通过该功能，可去除放电电阻并可降低待机功率。

可连接的X电容容量的推荐值为2uF以下。(有关IEC62368-1触电的要求：AC输入电压关断后，2秒内电源的输入部分电压会下降至60V以下。)

但，由於X電容的放電功能無法使用，因此當VH引腳印加DC電壓時，請務必將狀態設定機能中，X電容的放電功能設定為“無”。

(12) 容性模式防止功能

在电流谐振电路中，如果电流ID1 和 ID2变负，然后另一侧的MOSFET导通，则会发生直通且上管和下管的MOSFET可能短路。在最坏的情况下，开关管会损坏。

通常情况下会限制最低频率以防止直通。然而，在输入电压和负载发生改变时，这并非最佳方法，因为同时会限制工作点的设定。

在此IC中，会始终监视谐振电流Icr，Q1和Q2的电流ID1和ID2变负前MOSFET会被关断，然后另一侧的MOSFET导通，而不会发生直通。如图34所示，谐振电流经旁路电容Crd进行分流，通过电阻Ris转换为电压Vis，并通过IS引脚进行检测。使用此IC时，将变压器的初级绕组和谐振电容连接起来后与低电压侧Q1并联。

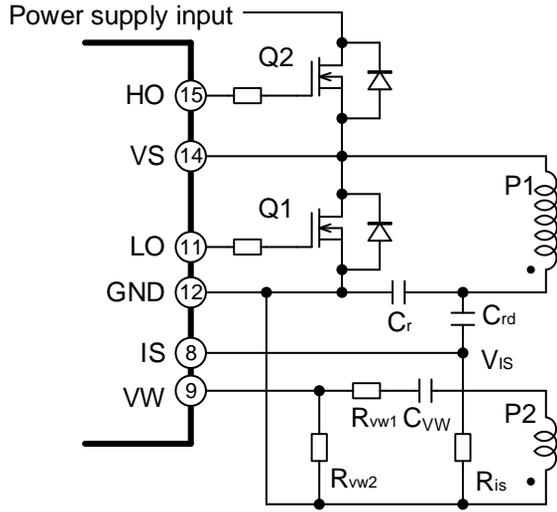


图34 容性模式防止功能电路图

容性模式防止功能有两种情况，分别是强行关断功能和死区时间自动调整功能。

(12-1) 强行关断功能

正常工作期间，MOSFET根据振荡器信号关断。然而，在下列两种情况下，由于可能发生直通，IC会强行关断MOSFET。

[强行关断的工作条件]

1. VW引脚电压升至下管强行关断VW引脚检测电压(VWLO)（工作模式的切换有）且检测到谐振电流Icr的IS引脚电压超过下管强行关断IS引脚检测电压(VTHISM)时。
2. VW引脚电压跌落至上管强行关断VW引脚检测电压(VWHO)（工作模式的切换有）且IS引脚电压降至低于上管强行关断IS引脚检测电压(VTHISP)时。

图35显示了VW辅助绕组、谐振电流Icr和强行关断检测点之间的关系。

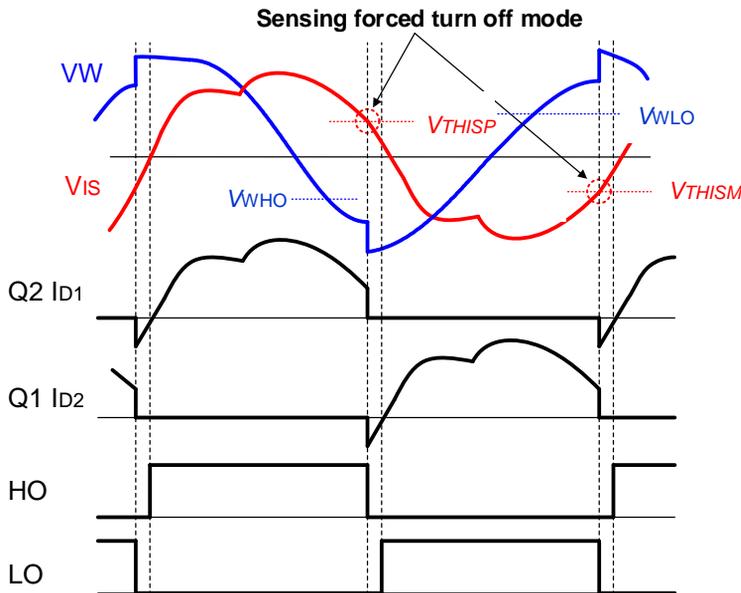


图35 强行关断功能波形

(12-2) 死区时间自调整功能

启动或突发工作期间，开关频率接近最高频率时，极有可能出现直通电流或硬切换。此IC配备死区时间自调整功能以防止发生此类问题。

通过检测VW辅助绕组电压变化率 dV/dt ，该功能检测VS引脚电压的变化并接通上管或下管MOSFET。根据振荡器的OFF信号，关断MOSFET。

死区时间自调整范围在IC内部设定，最短为430ns。

如图36所示，在变压器设计中，VW辅助绕组的极性必须与初级绕组P1的极性相反。VW辅助绕组也可用作VCC辅助绕组以为VCC引脚供电。

通过VW辅助绕组P_{VW}实现的死区时间自调整功能的原理如下。

电压反转时，有如下公式(9-1)。

$$N \cdot V_{VW} = V_S + V_{cr} - V_i \quad (9-1)$$

对公式(9-1)进行微分运算，可得公式(9-2)和(9-3)。

$$\frac{dV_{VW}}{dt} = \frac{1}{N} \left(\frac{dV_s}{dt} + \frac{dV_{cr}}{dt} \right) \quad (9-2)$$

$$= \frac{1}{N} \left(\frac{I_{cr}}{C_{VS}} + \frac{I_{cr}}{C_r} \right) \quad (9-3)$$

通常情况下，由于 $C_r \gg C_{VS}$ ，因此可推算出公式(9-3)。

$$\frac{dV_{VW}}{dt} \approx \frac{1}{N} \cdot \frac{dV_s}{dt} \quad (9-4)$$

因此，基于公式(9-4)，可通过VW辅助绕组电压变化(dV_{VW}/dt)检测VS电压变化。

如图37所示，开关频率高时，由于谐振电流较小，VW电压在MOSFET导通时几乎不变。因此，VW电压波形与VS电压波形几乎相同。

因此，由于可通过VW电压检测VS反转情况，因此经过一固定延迟时间(t_{DWNOP} 或 t_{DWNM})后将发送接通信号。

如图38所示，开关频率低时，由于谐振电流较大，在MOSFET导通期间可以检测到VW电压的 dV/dt 并可获得下一周期的接通信号。此时，死区时间为最小值 t_D 。

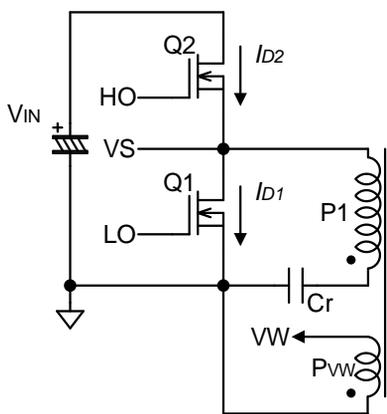


图36 初级侧电路概图

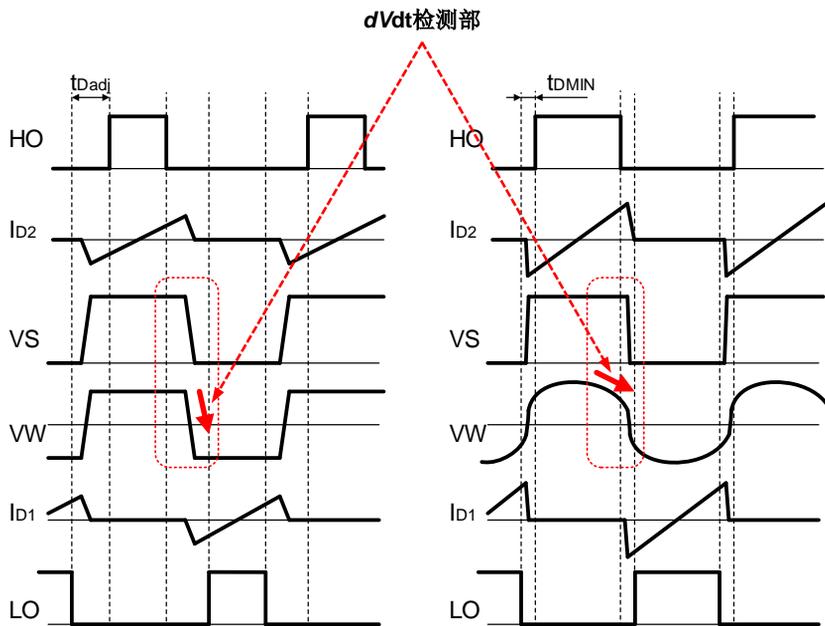


图37 高频率工作时的波形

图38 低频率工作时的波形

(13)与FA1B20N的通信功能

该IC内置有用于发送富士电机株式会社临界模式PFC-IC FA1B20N的工作切换（连续工作、突发工作、停止）信号的功能。

(13)-1 临界模式PFC-IC FA1B20N的通信

通过检测LLC电路的输出功率状态，并将通信信号从FA6C21N的OST引脚发送至FA1B20N的RT引脚，可控制PFC电路的工作（连续工作、突发工作、停止）。（仅自动切换方式）

在临界模式PFC中，轻负载时，电感电流减小且开关频率以高频工作。因此，开关损耗增加且电源效率降低。为提高轻负载时的电源效率，可通过LLC-IC检测输入功率状态并将PFC的工作模式从连续工作切换至间歇工作。

图39表示使用FA6C21N和FA1B20N通信功能时的电路图。FA6C21N侧通过OST引脚发送切换信号，FA1B20N侧通过RT引脚接收该信号。将切换信号线路设置在FA1B20N的RT引脚附近，避免受到电噪影响。如表7所示，通信信号有5种模式。

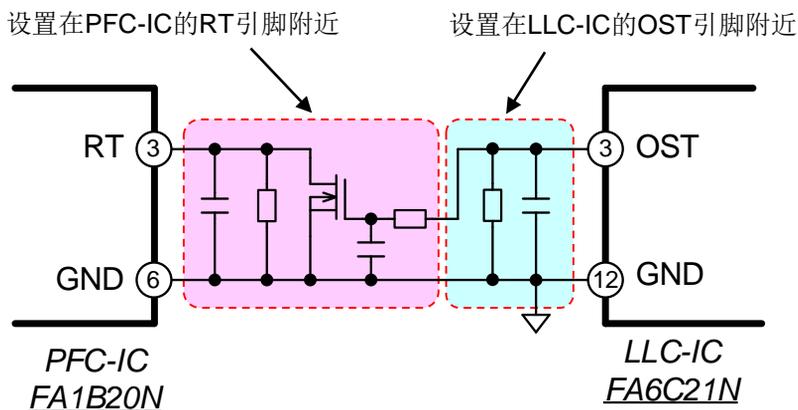


图39. PFC-LLC互连功能 引脚间连接方法

表8. PFC IC和LLC IC互连功能

PFC工作模式	OST引脚 输出电压	发送 时间	脉冲发送 次数
连续⇒突发 ($V_{in}=100V$)	5V	4ms	2次
连续⇒突发 ($V_{in}=200V$)	5V	4ms	1次
突发⇒连续 ($V_{in}=100V$)	5V	1ms	2次
突发⇒连续 ($V_{in}=200V$)	5V	1ms	1次
PFC停止	5V	50us	连续脉冲

(14)启动时序

(14-1)外部待机设定

图40表示电源启动时的工作波形。图中①~③的描述如下所示。外部切换方法的回路,请参考图41。

- ①随着AC ON, 启动电路开始对VCC引脚电压充电。此时, 即使为最低AC输入电压, INM引脚电压也应设定为0.55V以上。
- ②当VCC引脚电压达到启动电流供给停止电压 (VSTOFFi: 10V) 时进入状态设定期间。状态设定期间, VCC引脚电压通过启动电路保持在9V至10V之间。
- ③状态设定完成后, 从启动电路向VCC引脚供给启动电流, 使VCC引脚电压上升至工作开始电压(VCCON: 16V)。VCC引脚电压达到工作开始电压后开始开关, 辅助绕组电压也随之上升。之后, 从辅助绕组供给VCC引脚电压, 并开始正常工作。

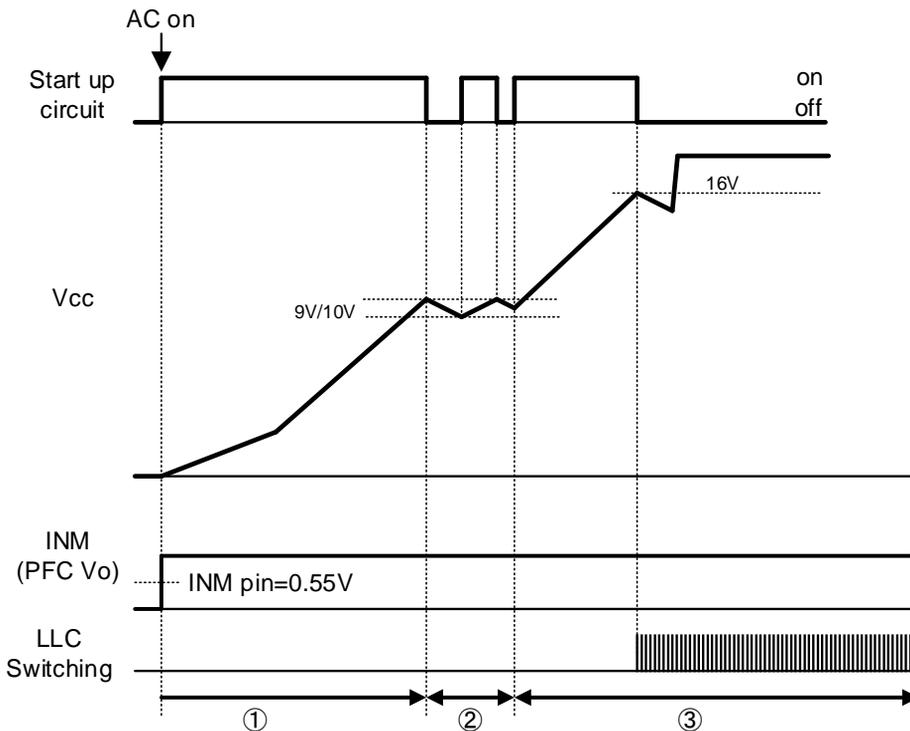


图40. 启动时序

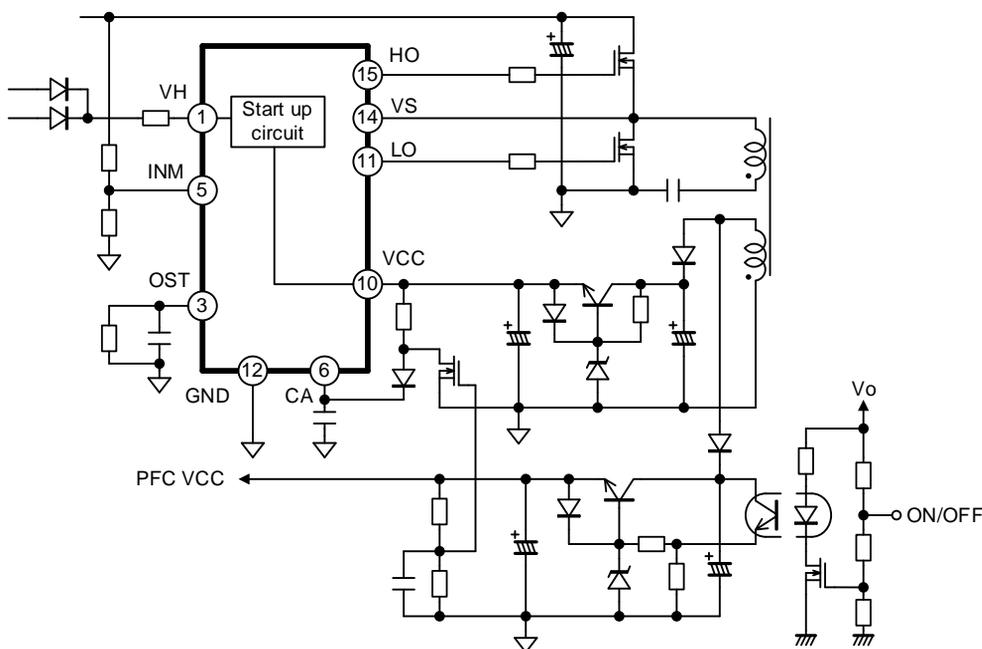


图41. 外部切换方式电路

(14-2)自动切换时

图42表示使用PFC-IC FA1B20N时的起动时序。图中①~④的描述如下所示。自动切换方法的回路,请参考图43。

- ①随着AC ON, 启动电路开始对VCC引脚电压充电。
- ②当VCC引脚电压达到启动电流供给停止电压(V_{STOFF} : 10V)时进入状态设定期间。
- ③状态设定完成后进入PFC启动期间。
 - 1.通过启动电流使VCC引脚电压上升。
 - 2.VCC达到启动时PFC恢复信号输出(V_{CCON_P} : 16V)时, PFC开始开关。
 - 3.因PFC的开关, 当VCC下降至启动电流供给开始电压(V_{STON} :15.5V)后, 起动回路开始工作。另外, 当VCC下降至启动电流供给开始电压(V_{STON} :15.5V)后, FA6C21N的OST引脚会发送停止信号给FA1B20N的RT引脚停止PFC的开关。
 - 4.通过启动电路使VCC引脚电压上升且VCC引脚电压达到启动时PFC恢复信号输出(V_{CCON_P} : 16V)时, 重新开始PFC的开关。但是, LLC保持工作停止。
 - 5.之后, INM引脚电压直到达到Brown-in电压(V_{INMBIA} : 2.3V)重复操作步骤3至4。
- ④进入LLC和PFC工作期间。
 - 1.PFC输出电压上升且INM引脚超过Brown-in电压(V_{INMBIA} : 2.3V)且VCC引脚电压达到启动时PFC恢复信号输出(V_{CCON_P} : 16V)时, LLC开始开关。
 - 2.根据LLC的工作, VCC通过辅助绕组供给电源并开始正常工作。

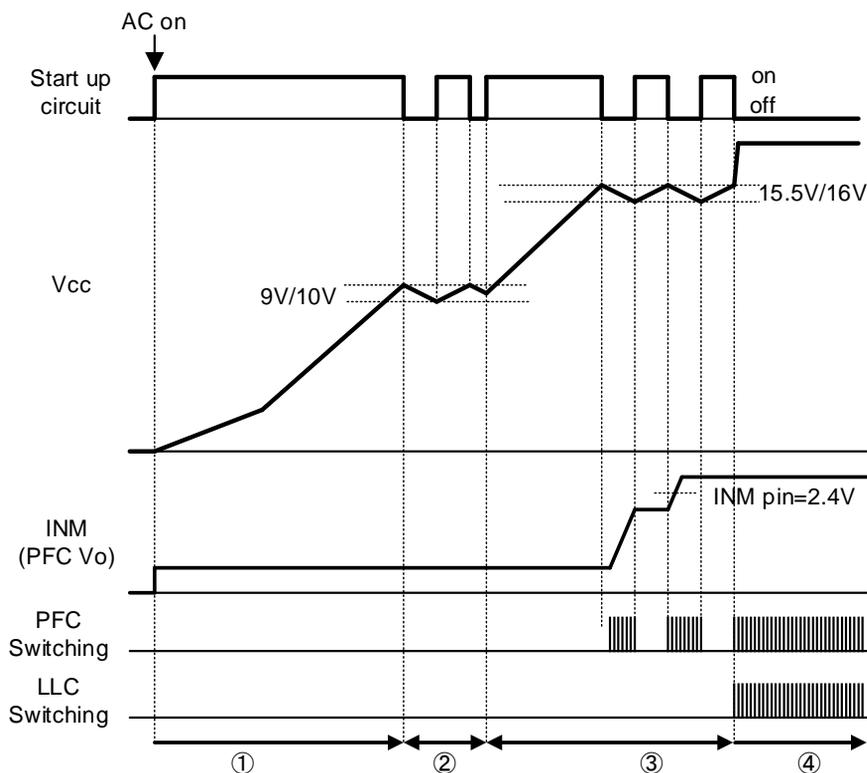


图42. 启动时序

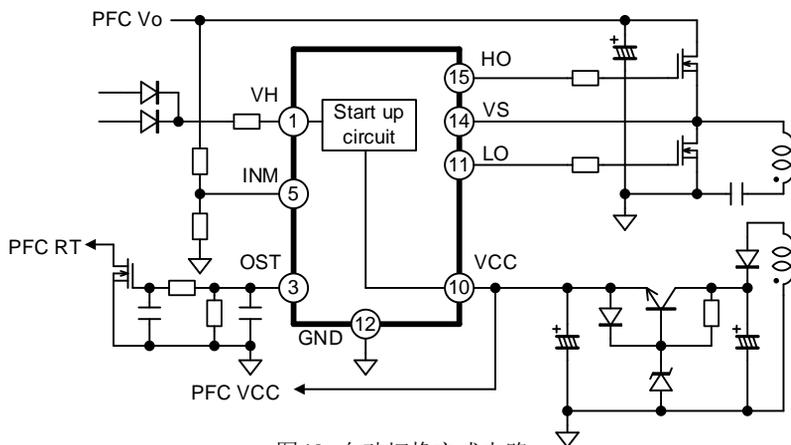


图43. 自动切换方式电路

10. 各引脚的使用方法和设计建议（下面描述的值均为典型值，除非另有说明。）

No.1: VH引脚

(1)功能

- (i)从VH引脚向VCC引脚供给启动电流。
- (ii)AC输入切断时，为输入滤波器X电容放电。（可选）
- (iii)内置固定电平的Brown-In、Brown-Out功能。

(2)使用方法

- (i)提供启动电流

✓连接方法1

通过启动电阻和二极管理连接至高压线。图44表示代表性连接示例。图44表示将AC输入电压的全波整流波形输入至VH引脚的连接。使用该IC内置的输入滤波器X电容放电功能时，如图44所示进行连接。

✓连接方法2

如图45所示，AC输入电压整流平滑（DC输入）后，也可连接VH引脚。连接时，通过状态设定选择无X电容放电。选择有X电容放电时，X电容的放电功能工作，可能导致过热、损坏。

如果向VH引脚输入半波整流波形而非全波整流波形，进行连接时，即使使用推荐工作条件中记载的VH引脚电阻(MAX=40KΩ)，也可能无法启动，因此不建议使用半波整流。

✓工作情况

电源接通时，由通过VH引脚从启动电路向VCC引脚供给的电流为VCC引脚连接的电容充电，电压上升，VCC引脚电压超过16V的启动电流停止电压时，内部电路用电源启动，且IC开始工作。

如果从辅助绕组供给至VCC引脚，则启动电路变为切断状态。在正常工作状态下，不使用辅助绕组而使用启动电路供给的电流无法使IC保持工作，因此应由辅助绕组供给VCC引脚电压。

- (ii)输入滤波器X电容放电功能

✓连接方法

仅通过图44所示的连接方法，该功能才可以工作。

✓工作情况

通过VH引脚监视AC输入电压，AC输入切断时，经过AC切断检测延迟时间(tACDET1: 56ms)后，X电容的放电功能将工作。

X电容放电3ms，停止1ms，重复ON/OFF状态（平均电流=2mA）。再次施加AC输入时，X电容放电功能停止。

- (iii)Brown-In、Brown-Out功能连接方法

✓连接方法

通过图44所示的连接方法，该功能可工作。

✓工作情况

VH引脚的输入电压达到VH引脚Brown-In电压(VHBI: 90Vdc)以上，几乎没有延迟开始开关。另外，输入电压降至Brown-Out电压(VHBO: 60Vdc)以下，且经过VH引脚Brown-Out检测延迟时间(tDVHBO: 47ms)后，停止开关。通过Brown-Out功能停止开关期间，控制启动电路的ON和OFF以将VCC引脚电压保持在12V至13V的范围内，VH引脚电压达到Brown-In电压时，再次开始开关工作。

(3)设计建议

1.启动电阻

为防止IC因AC线路浪涌电压影响而损坏，建议将2kΩ至40kΩ的启动电阻串联连接至VH引脚。但是，注意较大的电阻会使启动时间变长。

2.使用X电容放电功能时的电容量

为满足有关IEC62368-1触电的要求，该IC内置放电功能，可在AC输入电压切断后2s内，电源入力部の電圧値を60V以下に減衰させる。可连接的X电容容量的推荐值为2uF以下。

3.电容连接

在VH引脚和GND之间连接电容以去除噪音等时，推荐使用470pF以下的电容。如果电容过大，则X-CAP放电功能可能发生故障。

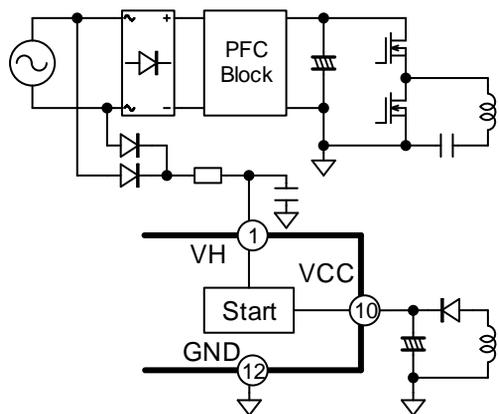


图44. VH引脚连接示例1（有XDC功能）

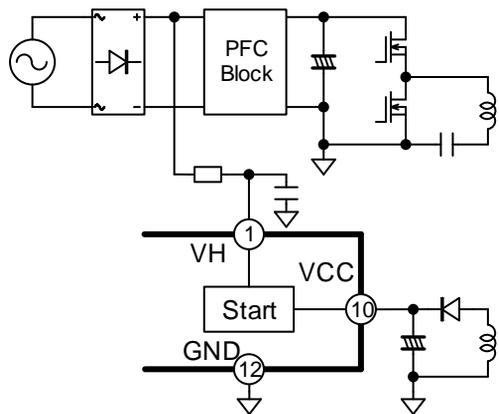


图45. VH引脚连接示例2（无XCD功能）

No.2: NC引脚

由于该引脚位于高压引脚（VH引脚）附近，因此未与IC内部连接。

No.3: OST引脚

(1)功能

- (i)通过状态设定功能设定工作模式。
- (ii)输出用于确定PFC-IC “FA1B20N”的工作模式（连续/突发/停止）的通信信号。（仅自动切换方式）

(2)使用方法

- (i)状态设定功能
 - ✓连接方法

在OST引脚和GND之间并联电阻和电容。从表2~表4中选择电阻值。建议使用大约1000pF的电容。
- (ii)与PFC-IC的通信
 - ✓连接方法

按照图46所示进行连接。为避免通信信号线路受到噪音影响，在FA1B20N的RT引脚附近设置信号切换用晶体管。

✓工作情况

OST引脚的输出信号根据输入功率检测功能的输出引脚，即CA引脚的电平而变化。通过在PFC-IC侧接收该信号来切换工作模式。

表9表示通信信号的种类。

另外，由于必须确实切换至连续工作，因此需要发送两次信号。

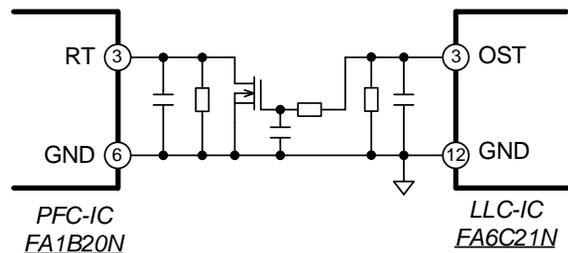


图46. PFC-IC通信功能电路图

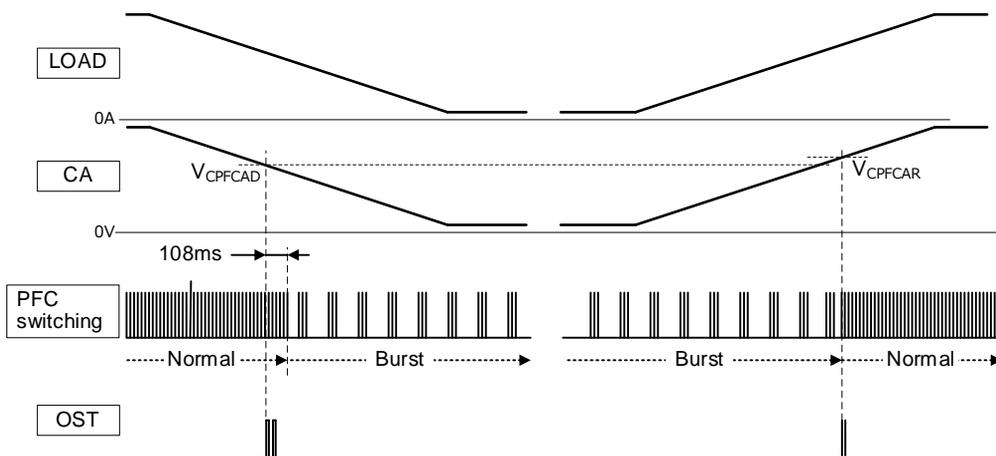


图47. PFC-IC通信信号工作时序

表9. PFC IC-LLC IC互连功能

PFC工作模式	OST引脚输出电压	发送时间	脉冲发送次数	OST引脚信号
连续⇒突发 (Vin=100V)	5.0V	4ms	2次	
连续⇒突发 (Vin=200V)	5.0V	4ms	1次	
突发⇒连续 (Vin=100V)	5.0V	1ms	2次	
突发⇒连续 (Vin=200V)	5.0V	1ms	1次	
PFC停止	5.0V	50us	连续脉冲	

No.4: FB引脚

(1)功能

- (i)输入来自次级侧的反馈信号。
- (ii)检测过载状态。
- (iii)FB引脚电压低时停止开关。

(2)使用方法

(i)反馈信号输入

✓连接方法

在FB-GND之间连接光耦合器的受光侧。此外，与光耦合器并联连接电容以抑制噪音。（参见图48）

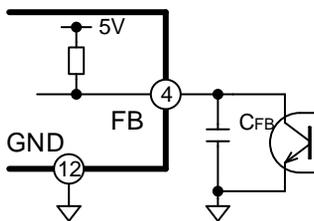


图48. FB引脚部件连接图

✓工作情况

FB引脚经电阻从IC内部电源(5V)偏置，且FB引脚电压由光耦合器的电流和电阻值确定。

确定的FB引脚电压输入至振荡器，并确定正常模式时的频率。FB引脚电压超过规定值时，开始开关。

(ii)过载检测

✓连接方法

与(i)的连接方法相同。

✓工作情况

当过载状态且电源的输出电压低于设定值时，FB引脚电压上升。

如果FB引脚的电压超过过载保护检测FB工作电压(V_{FBOLPH} : 4.3V)，且该状态持续过载保护检测延迟时间(t_{OLPDL} : 76.8ms)，则停止开关。在过载状态下变为间歇工作，解除过载状态后恢复至正常工作。

另外，软启动期间，FB引脚的过载检测无效。

(iii)FB引脚电压低时的开关停止

✓连接方法

与(i)的连接方法相同。

✓工作情况

启动后等，FB引脚电压从大约0V上升的情况下，未达到0.6V前会停止开关工作，达到0.6V以上则会开始开关。

开关工作后，FB引脚电压低于0.5V时，停止开关工作。

(3)设计建议

1.防止噪音

在FB-GND之间连接大约1000pF的电容，以避免噪音影响。另外，确保光耦合器和FB引脚及GND之间的电路板配线距离尽可能短，并避免配线经过变压器附近。

No.5: INM引脚

(1)功能

- (i)检测LLC的输入电压。

(2)使用方法

(i)输入电压的检测工作

①选择自动STB时（PFC始终工作）

✓连接方法

从PFC V_o 电压经电阻分压输入，并在INM-GND之间连接防止噪音用电容。（参见图49）

在PFC-IC中使用FA1B20N/21N时，可兼用FB引脚电阻。

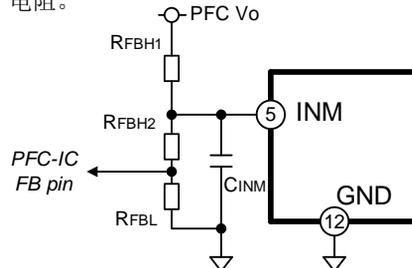


图49. INM引脚部件连接图1

②选择外部STB时（PFC VCC切断）

✓连接方法

在STB工作时切断PFC_VCC电压的电路配置时，无法兼用PFC的FB引脚电阻。请单独配置INM引脚分压电阻。（图50）

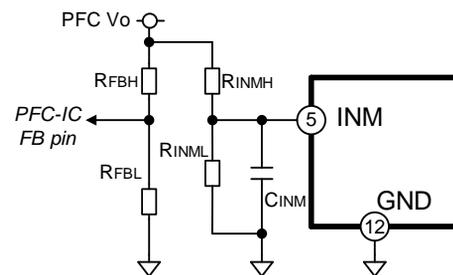


图50. INM引脚部件连接图1

✓工作情况

按输入至INM引脚的电压检测LLC的输入电压，进行各种工作的补偿。

(3)设计建议

1.INM引脚电压的设定值

正常工作时（PFC连续工作时），设定电阻值使INM引脚电压变为2.6V。

例： $R_{FBH1}=8M\Omega$

$R_{FBH2}=2k\Omega$

$R_{FBL}=51.6k\Omega$

INM引脚有Brown-in/out机能，因会对各个特性进行输入电压补偿，所以不能任意设定Brown-in/out的电压。

NO.6: CA引脚

(1)功能

- (I)输出符合LLC输入功率的电压。
- (II)检测过载并运行保护功能。
- (III)根据电压电平自动切换低频突发模式、高频突发模式、正常模式。
另外，根据电压电平切换PFC-IC的工作模式。
- (IV)如果使用外部待机的话，需要通过上拉切换至低频突发模式。

(2)使用方法

- (I)输出符合LLC输入功率的电压
 - ✓连接方法
如图51所示，在CA引脚和GND之间连接电容。如果需要调节模式切换的电平，也需连接电阻。

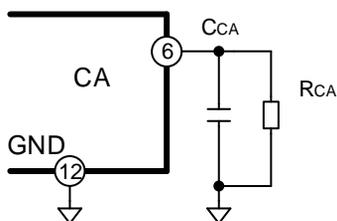


图51. CA引脚部件连接图

✓工作情况

输入功率检测功能可通过IS引脚检测LLC电路的输入功率，并通过CA引脚将检测到的电流转化为平滑信号。如图52所示，切换两次从IS引脚转换至CA引脚电压的增益，以扩大IC内部的CA引脚电压控制范围。通过设置迟滞，可实现增益的切换时机的稳定切换。负载增大时，CA引脚电压上升至2.0V时，切换增益且增益降至1.0V。负载减小时，如果CA引脚电压降至0.95V，则切换增益且增益增加至1.9V。

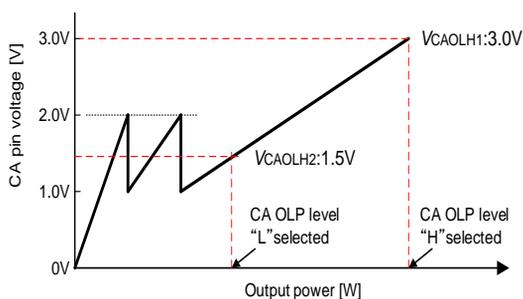


图52. CA电压VS.输出功率

(II)检测过载并启动保护功能。

- ✓连接方法
与(I)的连接方法相同。
- ✓工作情况
CA引脚电压达到状态设定确定的过载保护检测CA电压(VCAOLHX: 1.5V或3.0V)时，判断为过载，并在经过过载保护延迟时间(TOLPDL: 38MS)后停止开关，停止810MS后再次开始开关。

(III)根据电压电平切换工作模式

- ✓连接方法
与(I)的连接方法相同。
- ✓工作情况
输出电压变化时，CA引脚电压根据功率而变化。该电压达到状态设定所设定的电压时，切换LLC-IC的工作模式。
另外，根据CA电压，从OST引脚输出PFC的工作模式切换信号。可在PFC-IC侧接收该信号并切换PFC的工作模式。通过状态设定可从三个阶段中选择各工作模式切换电压。
请在参考P44的(9)工作模式切换机能下，在P34~35的表2~表4中选择状态设定的电阻。

(IV) 如使用外部待机的话，需要通过上拉切换至低频突发模式。

- ✓连接方法
请参考P48_图32。待机时建议把PFC停止。

✓动作

在ON/OFF信号(LOW)时，PFC VCC会被关断，PFC停止。PFC VCC被关断后，通过LLC VCC引脚电压上拉CA引脚电压。当CA引脚电压高于待机工作检测CA电压(VTHCASTH:3.8V)，就会切换至低频突发模式。被上拉的CA引脚电压解除后，当CA引脚电压下降至待机工作解除CA电压(VTHCASTL:3.7V)后，就会切换至连续模式。

(3)设计建议

- 1.通过电阻微调切换电平及过载保护工作电平
在CA引脚上添加电阻后CA电压的倾斜减小，各工作模式的切换功率增大(图53)。可连接的电阻最小值在，自动待机下OLP设定为H水平时为43KΩ; 自动待机下OLP设定为L水平时为390KΩ;外部待机下为2.7MΩ。

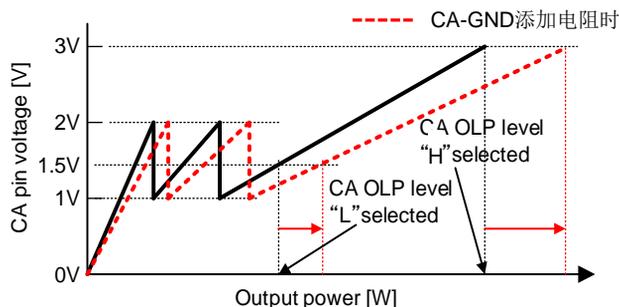


图53. 微调切换电平

2.CA-GND之间的电容

在CA-GND之间连接，自动切换时一个大约100NF的电容，外部切换时一个大约22NF的电容。

CA引脚电压决定该IC的工作模式切换和过载保护，IS引脚电压决定CA引脚电压。

因此，工作模式切换功率、过载保护功率根据IS引脚中连接的电阻RIS值而变化。另外，RIS也可用于过电流检测。常数调整时，选择满足该特性的RIS、RCA。

No.7: IS引脚

(1)功能

- (i) 检测谐振电流，并判断用于确定防止进入容性区间功能强行关断、强行开启的IS引脚阈值电压。
- (ii) 在各振荡周期检测谐振电流值并在过电流时停止开关。

(2)使用方法

- (i) 检测防止进入容性区间功能用IS引脚电压

✓连接方法

由于直接监测流入谐振电容(Cr)的电流会增加损耗，因此，如图54所示，将通过分路电容(Crd)和电阻(Ris)转换的电压输入IS引脚并检测谐振电流。在IS引脚和GND之间连接电容(建议Cis=100pF)以防止噪音。另外，根据噪音等级添加CR滤波器(参照图54)。推荐使用电阻R1为100Ω的CR滤波器。

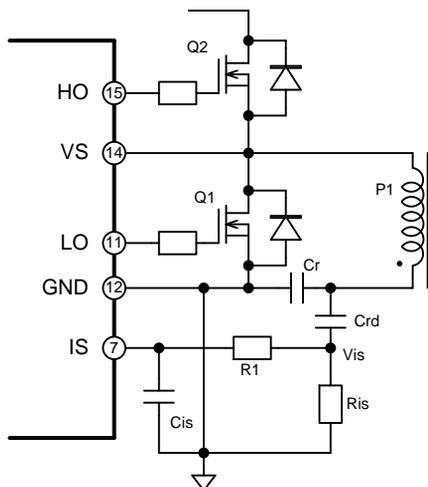


图54. IS引脚部件连接图

✓工作情况

有关防止进入容性区间功能的详情，请参见P50。

(ii) 过电流保护

✓连接方法

与(i)的连接方法相同。

✓工作情况

如果IS引脚电压超过下管过电流保护工作电压(VOCMN: -4V)和上管过电流保护工作电压(VOCPN: +4V)的范围，则各振荡周期关断。关断后，经过死区时间后再次开启且过电流状态持续时，将重复打开和关闭。此外，如果该过电流检测状态持续过电流检测延迟时间(tOCPDL: 10ms)，则停止开关。

开关停止后，经过电流延迟时间(tCOFF: 810ms)后，IC再次开始开关。过电流检测状态一直持续期间，如果存在超过过电流检测重置时间(tOCRST: 76us)的未检测期间，则重置过电流检测。

(3)设计建议

1.过电流检测

分路电容Crd的推荐容量约为谐振电容Cr容量的1/100。根据电容容量比Crd/Cr对电流进行分流，并通过电流检测电阻Ris转换为电压，然后进行过电流检测。

例如，要检测Icr=4A时，根据电容容量比Crd/Cr（建议：1/100）将电流分流为40mA。有关如何确定电流检测电阻，请参见CA引脚的章节。

2.加装滤波器

MOSFET的开关噪音可能导致IS引脚的过电流检测功能或防止进入容性区间功能故障，或工作变得不稳定。在这种情况下，如图53所示，在IS引脚上添加CR滤波器。推荐电容Cis=100pF、推荐电阻R1=100Ω。R1×Cis的时间常数变大时，延迟要素也变大且过电流检测或输入功率检测功能可能无法正常工作。

No.8: VW引脚

(1)功能

在防止进入容性区间功能中，输入初级侧卷绕的辅助绕组的电压，并判断开关时的变压器初级侧电压状态。（防止进入容性区间功能用电压检测）

(2)使用方法

✓连接方法

为了令高频突发下的工作可以安定，需要在VW辅助绕组和分压电阻间，加上电容Cvw。

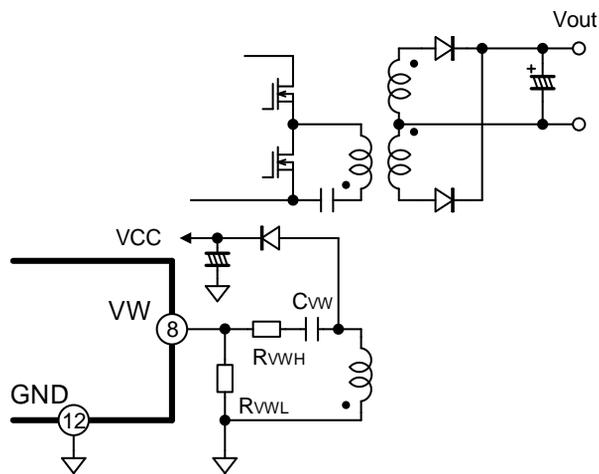


图55. VW引脚部件连接图

✓工作情况

有关工作情况详情，请参见P50的防止进入容性区间功能。

(3)设计建议

1.VW引脚的电阻和电容的选定

参考以下值，确定VW引脚的电阻，使VW引脚电压在正常工作时约为3.5V。但是，确保在启动、停止、过载等任意条件下都不会超过绝对最大额定值。

[电阻和电容的设定]

请按照以下步骤设定VW引脚电阻。

①RVWL为2kΩ时，选择RVWH、CVW使VW引脚电压约为3.5V。RVWH的标准值约为6.8kΩ~15kΩ、CVW的标准值约为470pF~4.7nF。

②RVWH、CVW值是为了令低频和高频突发时的工作可以安定，因此需要在工作下决定相关参数。

✓工作情况

正常工作时，MODE引脚电压保持在MODE引脚稳态箝位电压(VMODCLP:0.5V)。此时，从MODE引脚拉电流(I MODEESC: 27uA)的电流，但是通过外部开关将MODE引脚电压变为外部故障停止检测电压(VMODEST: 0.35V)以下，且该状态持续外部故障停止延迟时间(tMCCDLY: 60us)以时，输出的开关停止。开关停止后，VCC引脚电压通过启动电路保持。

(3)设计建议

1.使用MODE引脚的次级侧过电压保护电路

可配置使用MODE引脚的次级侧过电压保护电路。电路图如图58所示。

No.9: MODE引脚

(1)功能

- (i)通过状态设定功能设定工作模式。
- (ii)通过外部信号停止开关。

(2)使用方法

- (i)MODE引脚的状态设定功能

✓连接方法

如图56所示，在MODE引脚和GND之间并联电阻和电容。从表2~表4中选择电阻值。建议使用大约1000pF的电容。

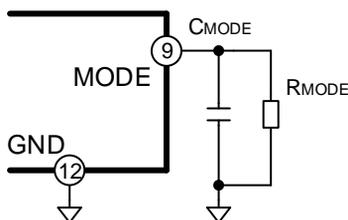


图56. MODE引脚部件连接图

- (ii)通过输入外部信号进行保护

✓连接方法

通过外部信号连接可使MODE引脚电压降至0.35V以下的开关。（参考图57）

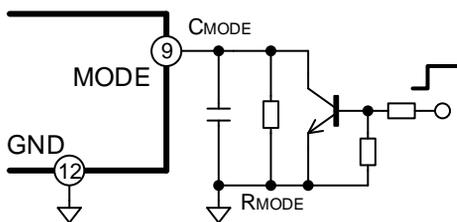


图57. MODE引脚部件连接图 2

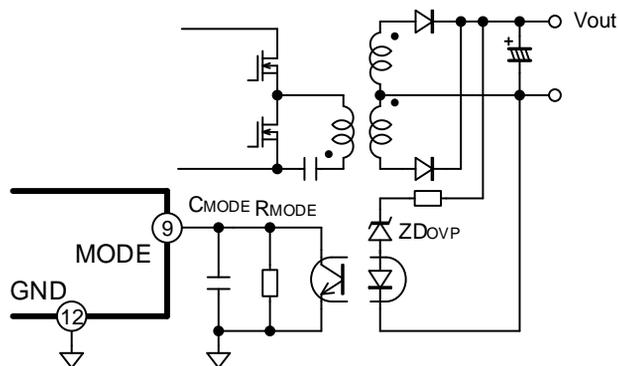


图58. 使用MODE引脚的次级侧过电压保护电路

No.10: VCC引脚
(1) 功能

- (i) 为IC供电
- (ii) 通过检测低电压防止出现故障
- (iii) 次级侧过电压保护

(2) 使用方法
(i) 为IC供电
✓连接方法

一般情况下，变压器中的辅助绕组电压经整流/平滑处理后连接。（参考图59）

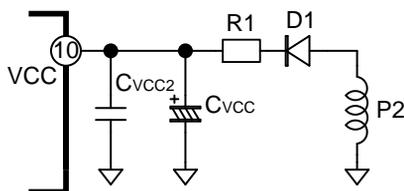


图59 VCC引脚电路

✓工作情况

正常工作期间的辅助绕组电压处于14~27V的范围内为最佳。因为启动电路停止电压为(VSTOFF: 13.7V最大值)，所以VCC引脚电压应为14V或更高（推荐工作条件），以防止启动电路在正常工作期间激活。

在正常工作状态下，仅使用启动电路供给的电流时无法使IC保持工作，因此需要从辅助绕组供给VCC电压。

(ii) 通过检测低电压防止出现故障
✓连接方法

与(i)相同。

✓工作情况

为防止电源电压降低时电路故障，集成UVLO电路。启动时，VCC引脚电压升高至启动工作电压(VCCON: 16V)，开关启动。（VB引脚和VS引脚间的电压需不小于V_{BS}开关启动电压（VBSON: 8.8V））VCC引脚电压降低至低于(VCCOFF: 9V)时，IC停止工作以防UVLO电路引发故障。IC停止工作时，OUT引脚被强制拉低。

(iii) 次级侧过电压保护
✓连接方法

与(i)相同。

✓工作情况

如果VCC引脚电压超过VCC过电压保护检测电压(VCCOVPH: 28.5V)达VCC过电压保护延迟时间(tVCCDLY: 304us)，则IC停止开关。一旦开关停止，VCC引脚电压保持在12V至13V的范围内且停止状态继续。

(3) 设计建议
1. 旁路电容的连接

驱动MOSFET时，VCC引脚内流过大电流，相应会产生较大噪音。另外，辅助绕组供给的电流也会产生噪音。如果噪音较大，IC可能发生故障。因此，如图59所示，除电解电容Cvcc外，在距VCC引脚尽可能近的地方连接旁路电容Cvcc2（0.1uF或更大）。

2. 辅助绕组P2

使用以下公式确定P2绕组的圈数。如果输出电压Vo且次级绕组圈数为S1时，P2绕组圈数的计算方法如下：

$$P_2 = \frac{V_{CC}}{V_o} S_1$$

然而，LLC变压器初级和次级之间的耦合度不高。因此，实际PSU上的Vcc电压可能比计算值要高。需要在PSU上调整并实际评估。

3. 整流二极管和电解电容

在图59所示的Vcc供给电路中，使用正向导通电压低的整流二极管D1。

使用低待机模式时，可增大VCC引脚电容的容量Cvcc以防止Vcc电压在开关停止期间出现下降。

No.11: LO引脚

(1) 功能

该引脚驱动下管MOSFET。

(2) 使用方法

✓连接方法

LO引脚经电阻连接至MOSFET的栅极。
(参考图60和61)

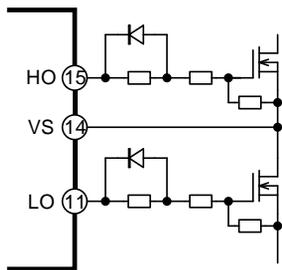


图60 栅极电路1

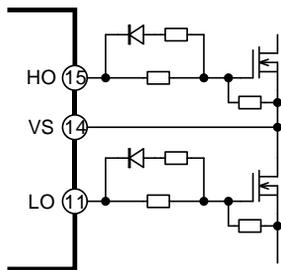


图61 栅极电路2

✓工作情况

MOSFET导通期间，状态设定为H，输出接近VCC电压。

MOSFET关断期间，状态设定为L，输出接近0V电压。

(3) 设计建议

连接栅极电阻以限制OUT引脚电流并防止栅极引脚电压振荡。

No.12: GND引脚

(1) 功能

此为IC的GND引脚，是IC各部分电压的参考引脚。

(2) 设计建议

控制电路和下管驱动器电路均使用此引脚作为GND。因此，GND布线的阻抗应尽可能低。

有关详情，请参见电路板设计注意事项图63。

No.13: NC引脚

由于该引脚紧邻高压引脚(VS)，因此未连接至IC内。

No.14: VS引脚

(1) 功能

上管驱动器的浮动接地引脚。

(2) 使用方法

✓连接方法

在电流谐振电路的功率级部分中，上管MOSFET(Q2)的源极和下管MOSFET(Q1)的漏极连接。连接VS引脚至低阻抗绕组。(参考图62)

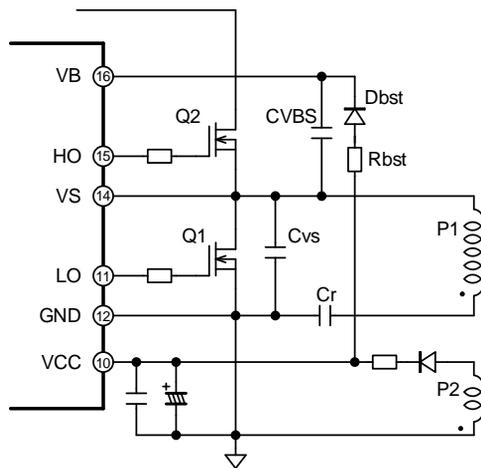


图62 输出元件电

✓工作情况

由于上管MOSFET和下管MOSFET交替导通和关断，因此VS引脚电压会发生变化。上管驱动器电路以此引脚为浮动接地并通过自举电路进行工作。

(3) 设计建议

上管MOSFET关断时，主电路的电流路径立即从上管MOSFET流向下管MOSFET的体二极管。那时，由于感抗和电流变化率，在数100ns内，VS引脚电压会降至低于GND数十伏。负电压可能超过绝对最大额定值并导致故障或IC损坏。因此，应在VS引脚和GND间连接电容C_{VS}以降低开关速度或绕线电感。但是，C_{VS}过大会导致硬切换。请使用实际电源确定评估后的CVS大小。
(推荐: 100pF - 470pF)

No.15: HO引脚
(1) 功能

该引脚驱动上管MOSFET。

(2) 使用方法
✓连接方法

HO引脚经电阻连接至MOSFET的栅极。

(参考图60和61)

✓工作情况

MOSFET导通期间，状态设定为H输出状态，输出接近VB电压。MOSFET关断期间，状态设定为L输出状态，输出接近VS电压。

(3) 设计建议

连接栅极电阻以限制OUT引脚电流并防止栅极引脚电压振荡。

最低死区时间 t_{d} 大于适当死区时间时，通过调整栅极电阻延迟关断并降低有效死区时间。

No.16: VB引脚
(1) 功能

- (i) 上管驱动器的电源引脚。
- (ii) 检测低电压以防止出现故障。

(2) 使用方法
(i) 向上管驱动器供电
✓连接方法

如图62所示，连接自举电容 C_{VBS} 、自举二极管 D_{bst} 和充电电流限制电阻 R_{bst} 。

✓工作情况

下管驱动器导通期间，自举电容 C_{VBS} 由VCC引脚经自举二极管 D_{bst} 充电。通过此电荷，上管驱动器动作。

(ii) 检测低电压以防止出现故障
✓连接方法

与(i)相同。

✓工作情况

为防止电源电压下降时出现故障，集成有UVLO电路。VB引脚和VS引脚间的电压上升至 V_{BS} 开关启动电压(V_{BSON} : 8.8V)时，启动开关(VCC引脚电压也需上升至高于开关启动电压(V_{CCON} : 16V))。电源电压下降并且VB引脚和VS引脚间的电压降至 V_{BS} 开关停止电压(V_{BSOFF} : 7.5V典型)时，IC停止工作。

在低电压误工作防止回路工作时，IC会进入停止工作的状态，OUT引脚被强制变为Low状态。

(3) 设计建议
1. 自举用电容 C_{VBS} 的选定

自举电容 C_{VBS} 、VS引脚和VB引脚之间的环路应尽可能的小。

2. 选择自举电容 C_{VBS}

图62中，Q2导通且Q1关断的状态下， C_{VBS} 电压因Q1栅极充电电流、IC的高边动作电流、 I_{BS2} 和 C_{VBS} 的漏电流而下降。因此，为防止VB引脚和VS引脚间的电压降至低于 V_{BS} 开关停止电压8.1V (V_{BSOFF} (最大值))，选择合适的 C_{VBS} 的值。使用以下公式计算 C_{VBS} 所需的最小电容量，但在选择时要留有足够余量。推荐电容量为0.1 μ F (最小值)–1.0 μ F (最大值)的自举电容 C_{VBS} 。

$$C_{VBS} > \frac{Qg + I_{BS2} \times T_{on} + I_{cbs}(leak) \times T_{on}}{V_{CC} - V_{BSOFF} - V_f - V_{LS}}$$

I_{BS2} : IC的高边工作电流

T_{on} : 上管MOSFET Q2最长导通时间

$I_{cbs}(leak)$: 自举电容的漏电流

VCC: 低侧电源电压

V_{BSOFF} : V_{BS} 开关停止电压

V_f : 自举二极管正向压降

V_{LS} : 下管MOSFET Q1导通电压

示例:

$$C_{VBS} > \frac{100nC + 0.52mA \times 5\mu s + 0.01\mu A \times 5\mu s}{15V - 8.1V - 0.6V - 5V} = 0.08\mu F$$

3. 选择充电电流限制电阻 R_{bst}

务必在电路中串接 R_{bst} ，防止在 C_{VBS} 初始充电时出现冲击电流。为防止二极管 D_{bst} 损坏，选择 R_{bst} 时应使冲击电流低于所选二极管的额定峰值电流。

4. 选择自举二极管 D_{bst}

选择反向恢复时间短的快恢复二极管。如果反向恢复时间长，则上管MOSFET设定为导通时，流向低侧电源Vcc的反向恢复电流增大，高侧Vcc供电效率可能降低。另外，高侧Vcc纹波可能会导致故障。

关于额定电压，考虑到降额因数要选择与下管MOSFET额定电压相同或相比较高的二极管。

通过MOSFET的栅极电荷量 Qg 和工作频率 f_{sw} 的乘积求出平均电流 I_{FAV} 。

峰值电流为低侧电源电压最大值Vcc除以 R_{bst} 求出的电流。

其它设计建议
(1) 防止引脚负电压导致故障

如果对IC的各引脚施加较大的负电压，IC内的寄生元件可能工作，从而导致故障。确保每个引脚上施加的电压为-0.3V或更低。

如果因噪音施加负电压，则在各引脚和GND间连接肖特基二极管。

肖特基二极管的正向电压可抑制各引脚的负电压。在这种情况下，使用正向导通电压低的肖特基二极管。

10. 电路板设计注意事项

开关电源工作时，由于脉冲大电流流入GND路径并产生浪涌电压（噪音），可能引起控制IC故障（电压不稳定、波形不稳定、异常锁定停止等）。此外，进行雷击浪涌试验、AC输入浪涌试验及静电放电试验等也可能导致故障。为避免这些故障，进行电路板设计时请充分考虑以下内容。请参照图63。

开关电源工作时的电流路径

- ① 流向AC电源整流前后的薄膜电容或电解电容、线圈、变压器初级绕组、MOSFET及电流检测电阻的主电流
- ② 从变压器的辅助绕组流向电解电容的电流和从电解电容流向控制IC、MOSFET栅极的驱动电流
- ③ 输出反馈信号等控制IC的控制电流
- ④ 在初级、次级侧间流动的滤波器电流及浪涌电流

电路板设计时的要点

- 应隔离①~④项的负电路板，以免互相影响。
- 主电路电流流经路径设定为最短环路，以减小MOSFET的浪涌电压。
- 尤其要隔离主电路和控制电路的GND电路板，并在连接时尽量靠近电解电容的(-)引脚。
- 连接VCC引脚和GND之间的电解电容时，应尽量靠近IC。
- VCC引脚连接的噪音去除用陶瓷电容或滤波器电容应靠近IC并用最短配线进行连接。
- VB引脚-VS引脚间的自举电容应靠近各引脚并用最短配线进行连接。
- FB引脚、IS引脚等滤波器的电容应靠近各引脚并用最短配线进行连接。
- 由IS引脚和GND配置的环路应尽可能小。
- IC和信号部件不应布置在主电路环路内。
- 变压器或线圈可能会引起漏感。为了避免这种影响，请勿在变压器、线圈下面配置高阻抗控制电路部件及电路板。

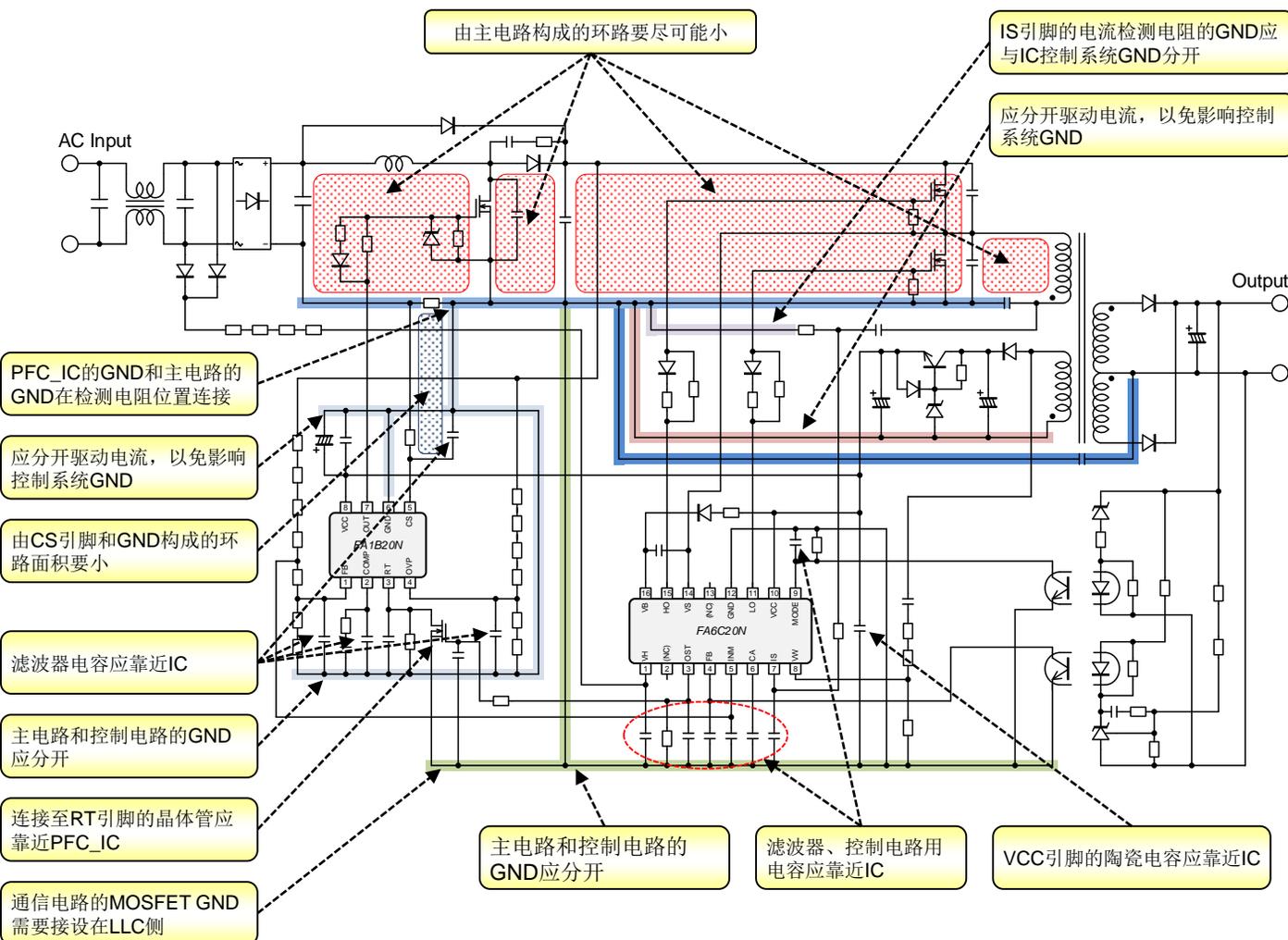


图63. 电路板设计示意图

警告

1. 本应用手册（产品规格、特性、数据、材料和结构等）于2020年9月编制。本手册内容如因规格改变或其他原因而变更，恕不另行通知。在使用本数据手册中的产品时，请获取最新的产品规格书并检查相关数据。
2. 本应用手册中所述的应用示例是富士电机产品的代表示例，本应用手册既不担保其中涉及的任何专利和权益，也不表示授权许可。
3. 尽管富士电机株式会社一直在提高产品的质量和可靠性，但仍然难以避免会有少部分半导体产品可能存在缺陷。请务必采取合适的安全措施，例如采用余量设计、防火势蔓延保护设计、故障保护设计，以避免富士电机半导体产品造成人身伤害、因火灾导致财产损失以及社会危害。
4. 本应用手册中介绍的产品可用于正常可靠性要求的下列电子与电气设备中。
 - 计算机 - 办公自动化设备 - 通信设备（引脚） - 测量设备
 - 机床 - 视听设备 - 家用电器 - 个人装备
 - 工业机器人等。
5. 如果您需要将本应用手册中的产品用于更高可靠性要求的设备，则必须联系富士电机并获得事先批准。当将这些产品用于高可靠性要求设备时，务必采取适当的措施，例如，组建后备系统，即使富士电机半导体产品出现故障，仍能确保安全：
 - 运输设备（安装在汽车或船舶上） - 干线通信设备-交通信号控制设备
 - 气体泄漏探测器和气体截断设备 - 灾害应急设备/防盗装置
 - 各种安全装置
6. 本应用手册中的产品不能用在极高可靠性要求的设备中：
 - 航天设备 - 航空设备
 - 原子能控制设备 - 海底通信设备
 - 医疗设备。
7. 未事先获得富士电机株式会社的书面许可，任何人不得重印或复制本应用手册中的全部或部分內容。
8. 如果您对本应用手册中任何部分有任何疑问，请在使用产品之前咨询富士电机株式会社或其销售代理商。对于不按照本警告性声明中的指示使用产品所造成的任何损害，富士电机株式会社及其销售代理商不承担任何责任。

- 本手册内容如因规格改变或其他原因而变更，恕不另行通知。
- 本应用手册中的应用示例或元件旨在为您的设计提供帮助，并未考虑变化余量。
- 进行设计前，应当适当考虑零件变更和使用情况。