

在高频开关电源中应用摆动变压器

黄永富

摘要:采用摆动变压器,以解决单端反激式开关稳压电源变换器轻载时,工作在非连续状态的问题。从而获得满意的波形。

叙 词:连续状态 摆动变压器 台阶式气隙

单端反激式变换器在一些小功率高频开关电源中,得到广泛的采用。特别是这种变换器在理想的连续状态下,其输出电压只取决于原边与副边的匝数比,脉冲导通时间与截止时间之比,以及输入电压值,而与负载电阻大小无关。这对于稳定输出电压是很有利的。另外,在连续状态下,初始电流具有一定的值,使平均功率增大,输出功率也增大,电流波形接近双端电路,可以减少假负载电流,提高电路效率。

实际上这种变换器要做到完全工作在连续状态,是很不容易的。

刘胜利先生在他所编著的《现代高频开关电源实用技术》一书中,他用 PQ26/25 铁氧体磁芯和 TOP204 电路制作 40W 单端反

激式开关稳压电源过程中,就遇到了如下的问题:轻载时,电源变换器工作在非连续状态,重载时,才工作在连续状态。他采用了两组不同匝数的绕组,加同样的气隙(双侧 0.18mm),分别在空载(有假负载,加其它因素约为 6W)、加载(约达 15.3W)和较重载(约为 25W)三种情况,得出三张漏极高压脉冲波形。(见图 1 至图 3)可以看到原边电感量 2.6mH 时(各图右侧),在后两种情况下,波形很好。空载时就相当差。电感量较低的(1.26mH 于各图左侧),除在 25W 时波形尚可外,其它情况都不行。由此看来,较高的原边电感量如 2.6mH,对变换器工作于连续状态是有利的。只有在 6W 以下情况时,也不行了为什么呢? 因为,相对而言在此时,2.6mH 电感量仍然太小了。

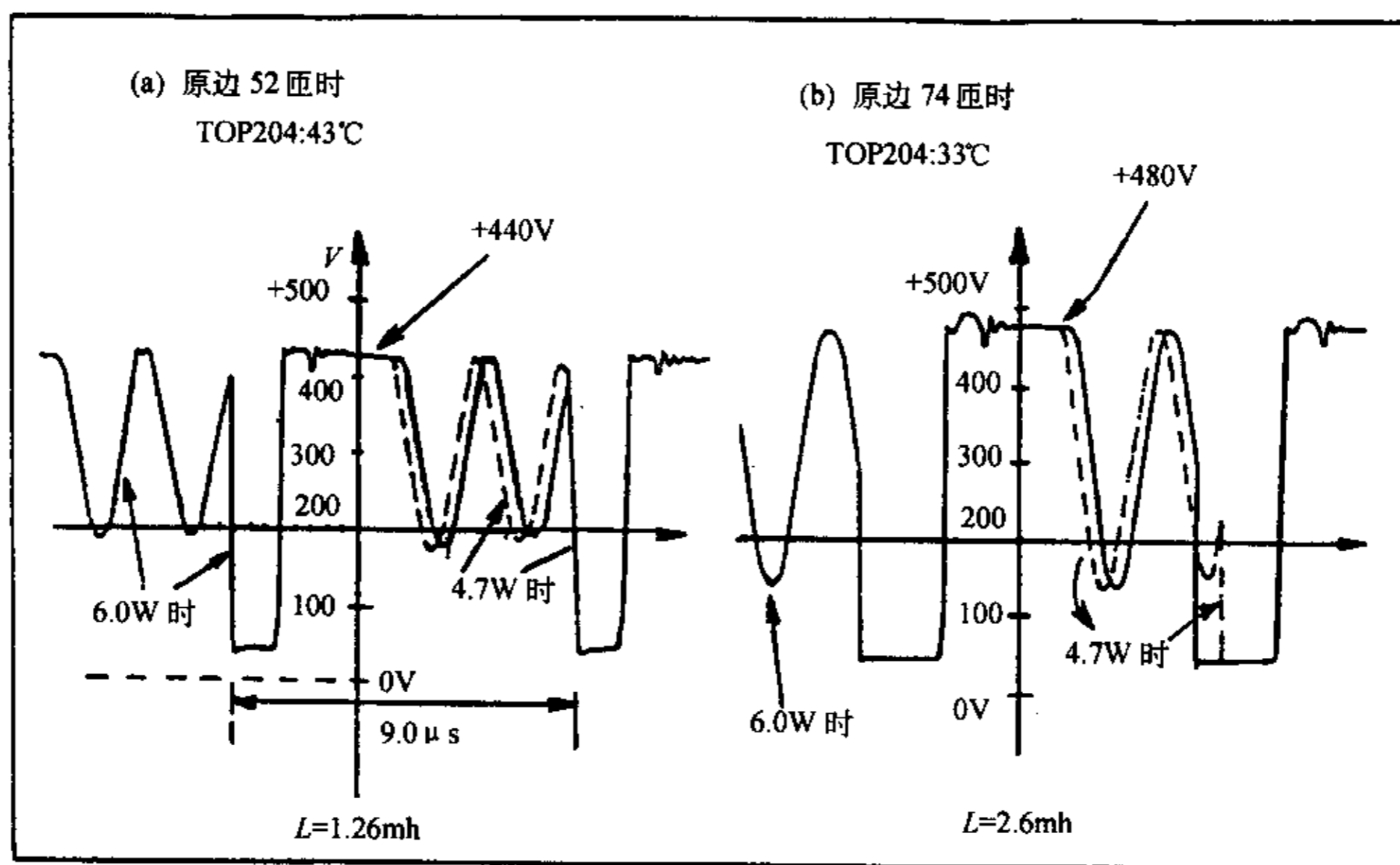


图 1 空载时(6W)漏极脉冲波形(气隙为双侧 0.18mm)

表 1 不同负载时磁能与电感量对照表

输出功率 W	原边功率 W	磁能 VμS	$L_p I_p^2$ VμS	$L_p I_p$ VμS	L_p mH	I_p A
空载—6	7	70	140	1500	16.08	0.0933
轻载—15.3	18	180	360	1500	6.25	0.24
较重载—25	29.4	294	588	1500	3.826	0.392
满载—40	47	470	940	1500	2.393	0.6267

下面根据能量平衡的关系,可以列出不同输出功率情况下,相应的原边峰值电流和原边绕组的电感量。

实际上,从刘胜利先生另外两个试验中,原边电感量分别为 2.0mH 和 1.6mH(图 4、图 5),甚至在 25W 和 20W 时波形也不好,不能工作在连续状态。可以认为在 15.3W 以上时,原边电感量 2.6mH,才能满足要求。它只是计算值 6.25mH 的 40% 多一些。为了能使空载时—6W 也工作在连续状态,不一定要取计算值

16mH,至少也应是它的30—40%,即4.8—6.4mH。

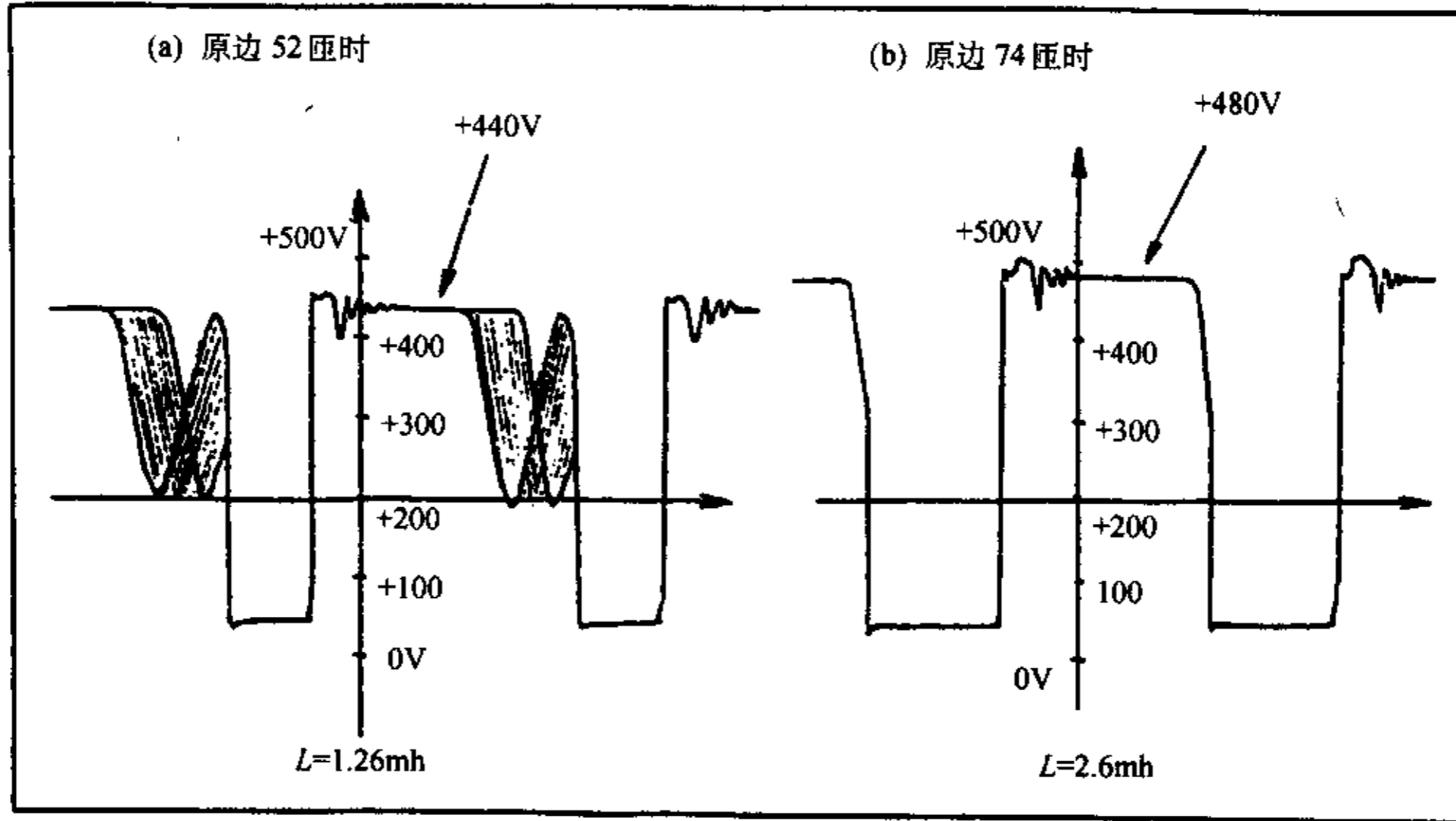


图2 加载时(约15.3W)漏极脉冲波形(气隙为双侧0.18mm)

由此看来,要想让变换器在不同负载时,都工作在连续状态,就要求变压器的原边电感量能随着负载变化而变化。

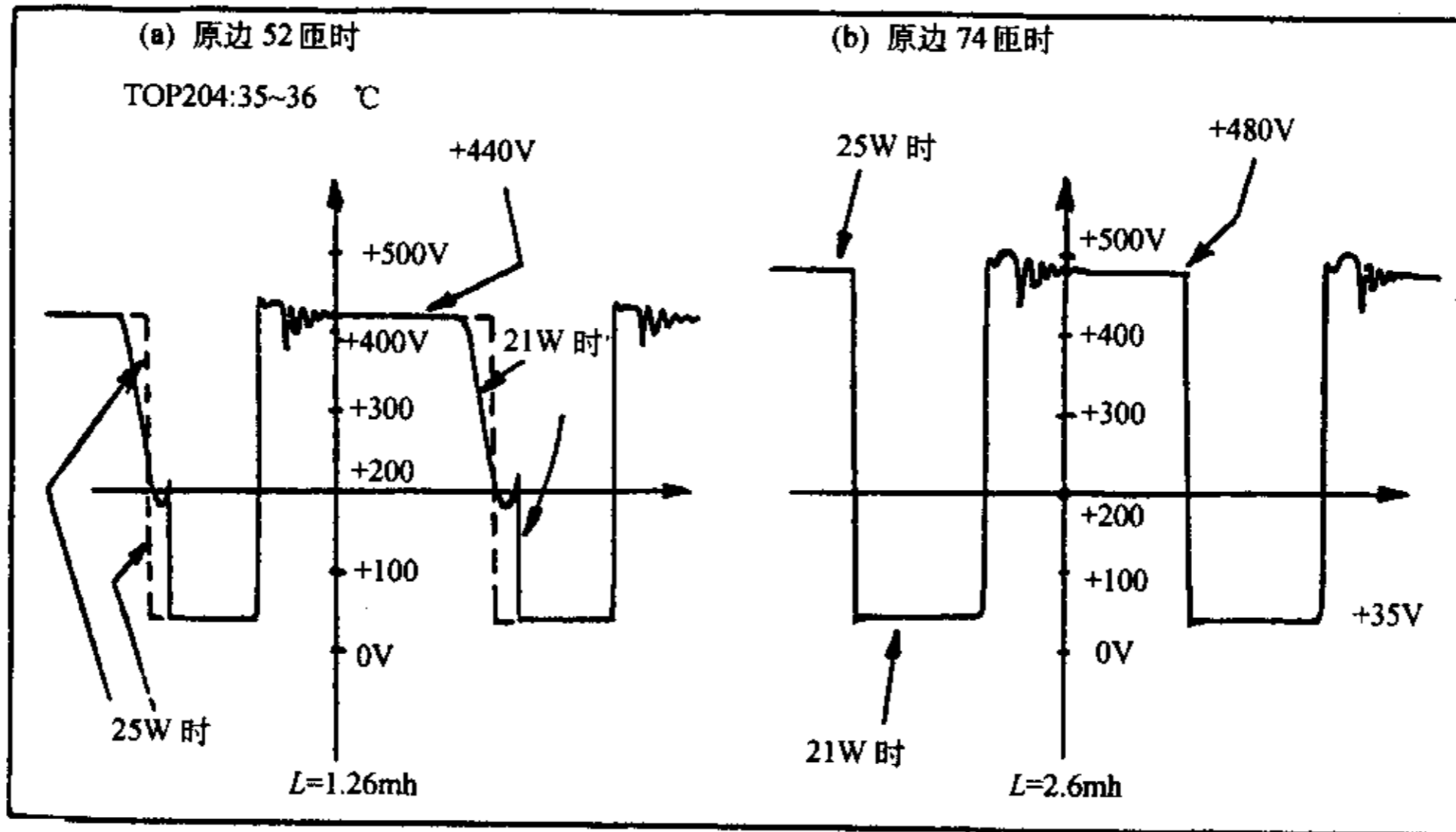


图3 较重负载时(约25W)漏极脉冲波形(气隙为双侧0.18mm)

大家认为,铁氧体磁芯在开了气隙以后,只要运作在一定的NI值范围内,其电感系数—AL值是恒定不变的,即绕组的电感量也是不变的。(图6)为了达到负载大小变化时,变换器均工作在连续状态这样一个目的,不可能使用两只或更多只变压器,以分别在不同负载时启动。这是非常不现实,也是不可能的:一台变换器上用两只或更多只变压器。

解决这个问题的办法,还是有的。有人在使用工频变压器时,为了解决轻载时电感值大一些,以便得到较小的电流值,重载时电感值小一些,电流可以大一些,仅在变压器磁路上,开一

个很小的气隙,问题就解决了。在工作电流较小时,一个很小的气隙就解决问题了。这就是所谓摆动变压器。而高频开关电源,电流较大,光靠开一个小气隙是无从达到上述目的的。在高频开关电源上,要想采用摆动变压器这样的方法,同样是在开气隙上做文章。

简单说来,有两种方法或形式,这里暂且称之为台阶形和斜坡形气隙。如图7所示。台阶形气隙可以多至三、四个台阶,但太多了不一定有此必要,而且在设计上也比较麻烦。台阶形有多种形式,这要看加工的可能了。斜坡形就是开一个斜坡气隙。

这两种形式,都能达到电感量随着电流变化而变化,但都不能超过一定的 NI 范围。

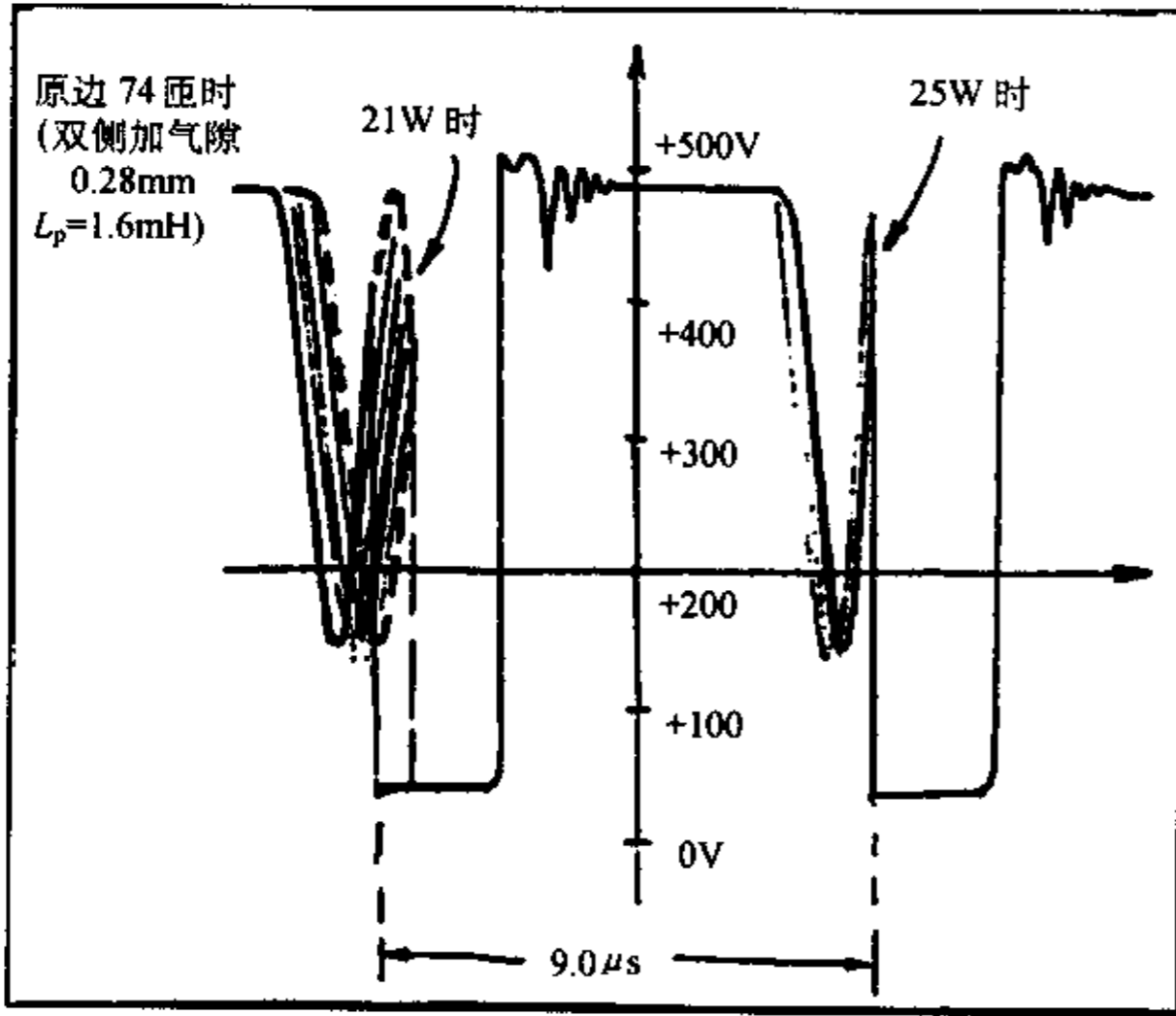


图 4 $L = 1.6\text{mH}$ 时漏极脉冲波形

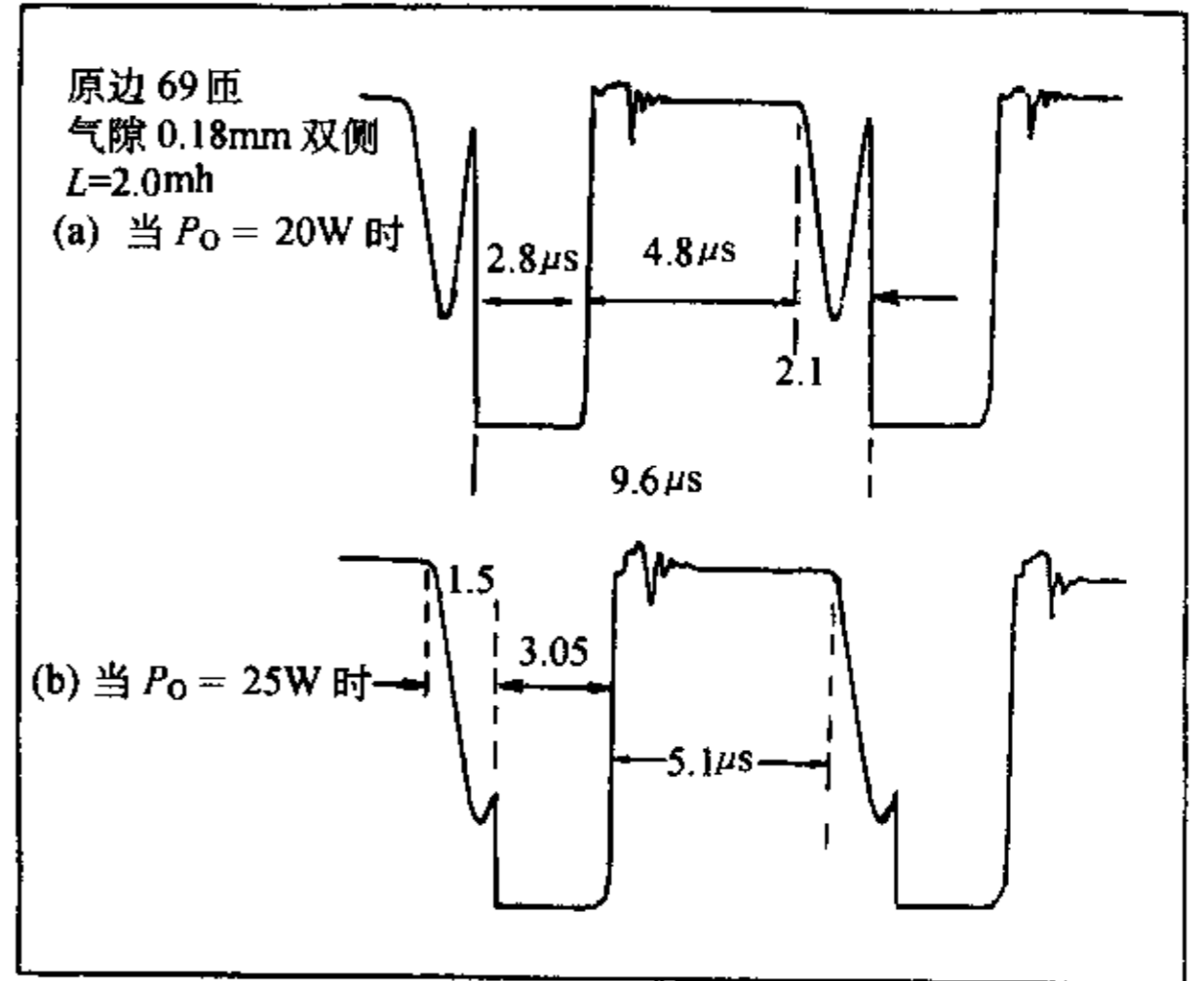


图 5 $L = 2.0\text{mH}$ 时漏极脉冲波形

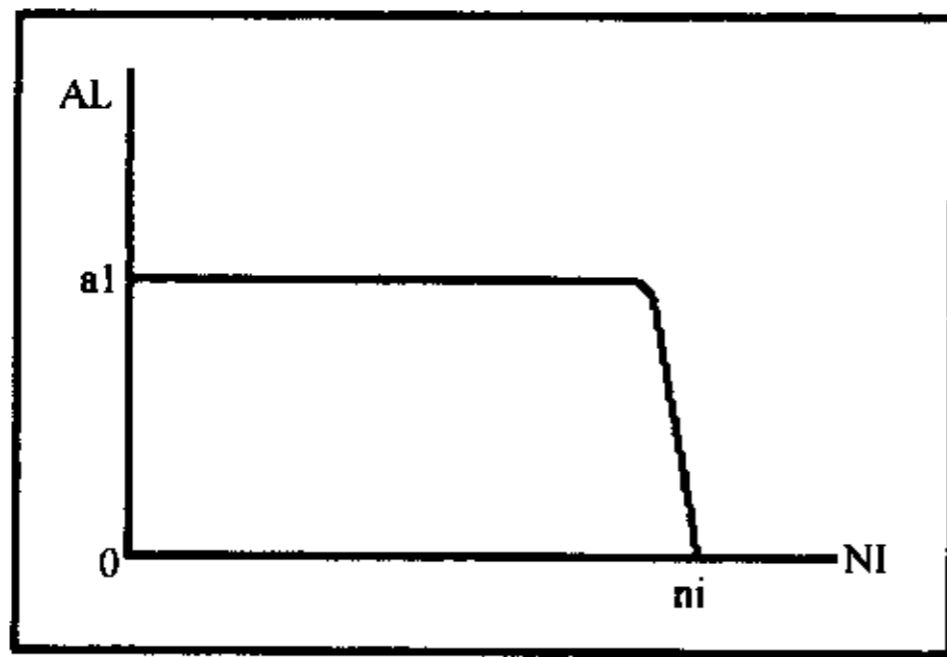


图 6 固定气隙时 AL-NI 曲线

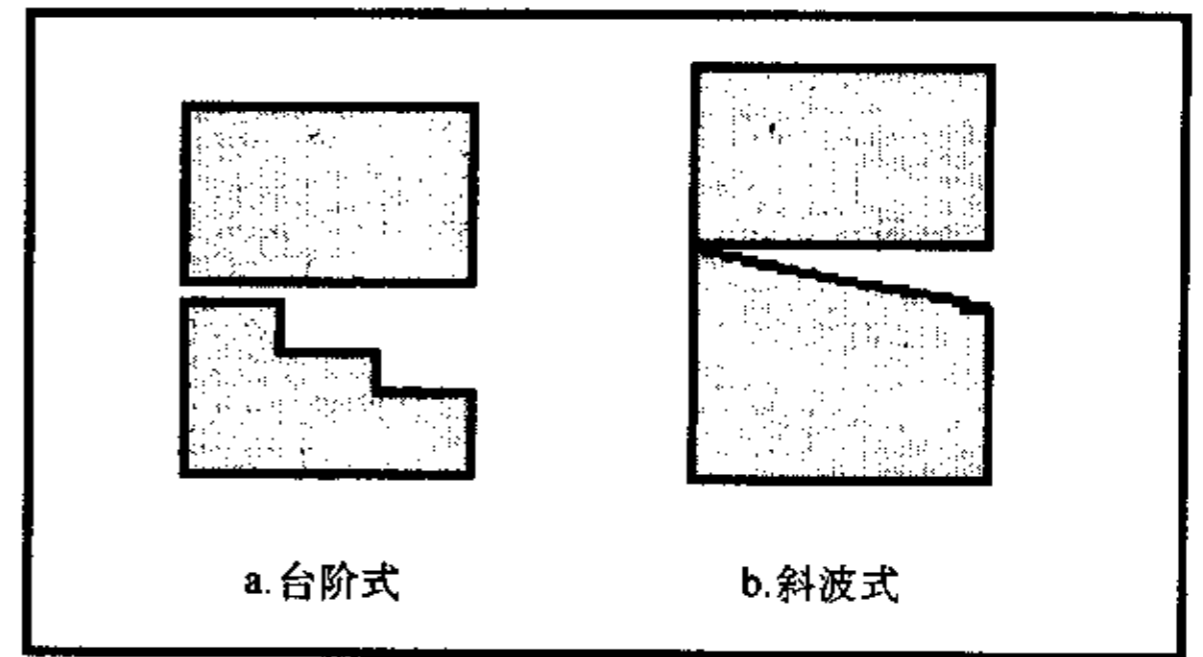


图 7 可变气隙的两种形式

为此,对两种气隙方式:固定(0.36mm)和台阶气隙的电感, 加以不同电流时,得到其电感量变化情况,见表 2。

表 2 两种气隙电感量与原边电流(安匝)对照表

L = mh	2.63	2.46	2.43	2.34	2.25	2.00	1.85	1.50	1.27	1.08	0.48	0.36	0.18	0.10	
A = ma	0	18.5	20.0	22.5	28.0	38.0	45.0	60.0	72.0	84.0	150	180	240	360	
NI	0	1.33	1.44	1.62	2.02	2.74	3.24	4.32	5.18	6.05	10.8	13	17.3	25.9	
L = mh	10.4	5.47	5.13	4.6	3.8	2.82	2.5	1.8	1.38	1.17	1.03	0.42	0.3	0.2	0.11
A = ma	0	18	19	21.5	25.5	35	40	52	67.5	77	87	160	190	230	360
NI	0	1.3	1.37	1.55	1.84	2.52	2.88	3.74	4.86	5.54	6.26	11.5	13.7	16.6	25.9

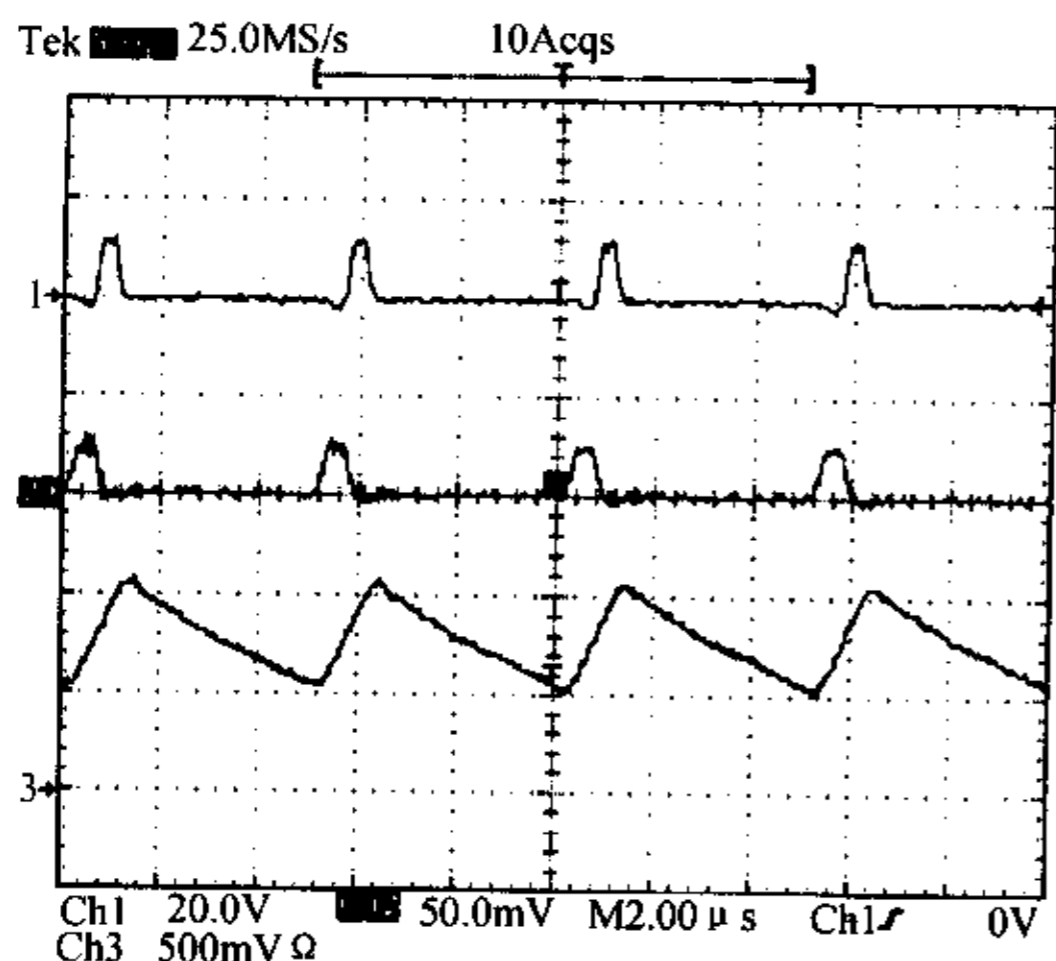
利用表 2 的数据,作出图表 A 电感量与 NI 对照。

表 2 和图表 A,可以看到随着 NI 值的增加,由 $NI = 0$ 增加到 $NI = 13 (I = 0.18\text{A})$,电感量分别由 10.4mH 和 0.63mH 下降到 0.36mH 。在 $NI = 3.24 (I = 0.045\text{A})$ 以上时,电感量基本趋向一致:固定气隙 $NI = 17.3 (I = 0.24\text{A})$ 时, $L = 0.18\text{mH}$;台阶气隙 $NI = 16.6 (I = 0.23\text{A})$ 时, $L = 0.2\text{mH}$ 。满载时 $IP = 0.63\text{A}$,即 $I = 0.398\text{A}$,此时预计 $L = 0.1\text{mH}$ 。

又可看到,固定气隙的磁芯,在气隙不是很大时,其电感系数—AL 值和绕组的电感量并不是不变的。就像表 2 中第一行所示。

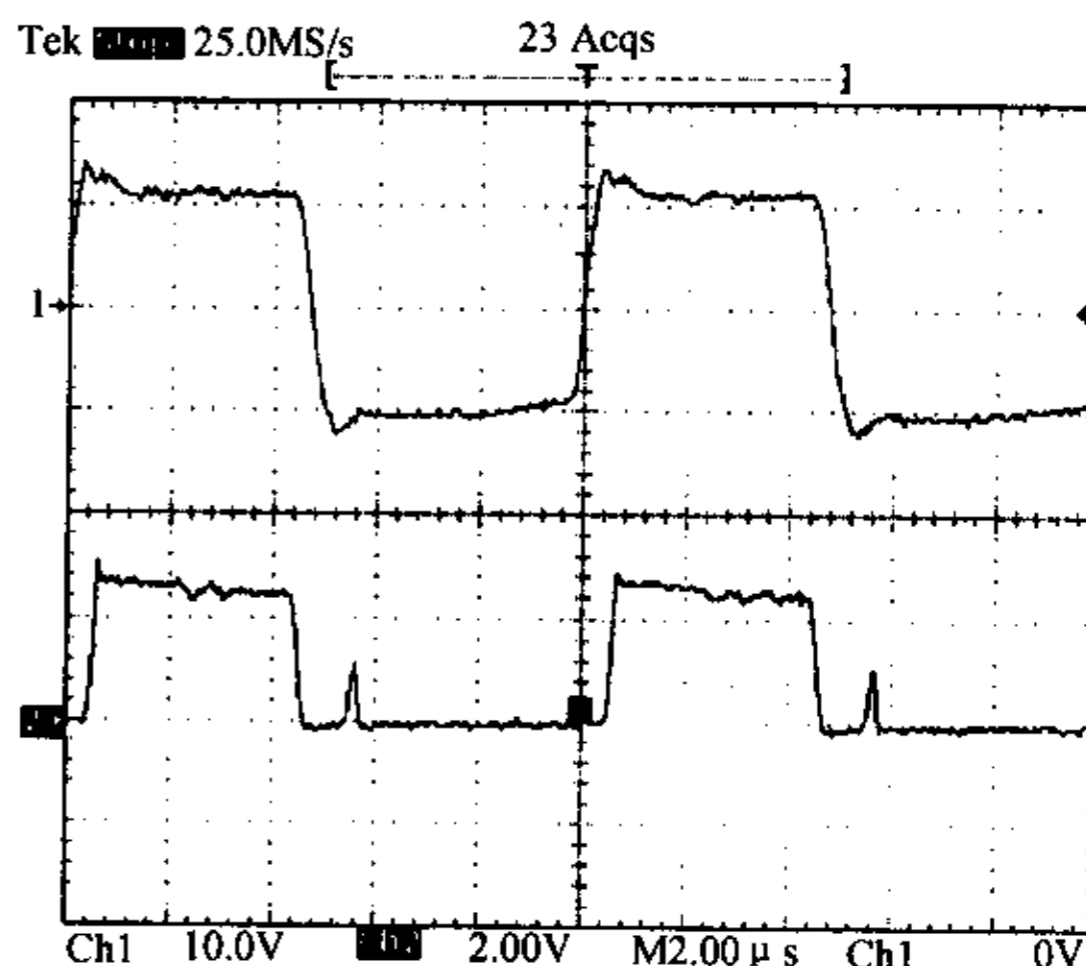
由于条件限制,没能直接上机观看波形。欢迎有兴趣的同仁合作,进一步做好这种变压器的推广应用。

(下转第 94 页)



上图为主管驱动信号和 ZVT 驱动号驱动信号

图 7 Boost 电感电流波形



上图为 forward 驱动信号

图 8 forward 电路二极管电压波形

结果

变换器主电路拓扑如图 1 所示,开关频率 200kHz,单相交流(50Hz)整流供电。输入整流电压 $90V \pm 10\%$,输出电压 10V,输出电流 10A(阻性负载)时的实验波形如图 4、6~8 所示。图 4、8 为表明变换器开关管和二极管电压应力为母线电压 V_s , forward 电路各管自然实现 ZVT。图 6 表明,变换器工作在连续状态。

6 结论

理论分析和实验结果基本一致,本文的工作主要在于:

(1)验证了新的变换器拓扑。它具有各管电压应力低;forward 管自然实现 ZVT;因为使用交错并联技术,有效的减小了隔离 Boost 变换器漏感的影响。

(2)尝试了 RCD 吸收和 LCD 吸收。其中 RCD 吸收适合于低压工作状态;LCD 吸收适合高频高压工作状态。

参考文献

- [1] K. Harada and H. Sakamoto "Switched snubber for high frequency switching" [R]. IEEE PESC Conference record 1990, pp. 181 - 188
- [2] M. Domb, R. Redl and N. O. Sokal, "Nondissipative turn-off snubber alleviates switching power dissipation, second-breakdown stress and Vce overshoot" [R]. IEEE PESC'82 Record, pp. 445 - 454
- [3] 阮新波、严仰光“直流开关电源的软开关技术”,科学出版社,2000 年

作者简介

梁永春,女,博士研究生,1973 年 12 月生。

严仰光,男,教授,博士生导师,1935 年 3 月生。

(上接第 103 页)

参考文献

- [1]《现代高频开关电源实用技术》刘胜利编著
- [2]《无线电原理》中央军委通信部编辑出版(1953 年)

作者简介

黄永富,《国际电子变压器》编辑委员会委员、中国电源学会变压器电感器专业委员会委员。目前,正从事台阶式和斜坡式气隙的变压器的开发工作,并准备开发不漏磁变压器。

图表 A,电感量与 NI 对照