



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117977961 A

(43) 申请公布日 2024. 05. 03

(21) 申请号 202410058009.1

(22) 申请日 2024.01.15

(71) 申请人 中国科学技术大学

地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路  
96号

(72) 发明人 程林 王保创 吴啸南

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

专利代理师 鄢功军

(51) Int. Cl.

H02M 3/158 (2006.01)

H02M 3/156 (2006.01)

H02M 1/00 (2007.01)

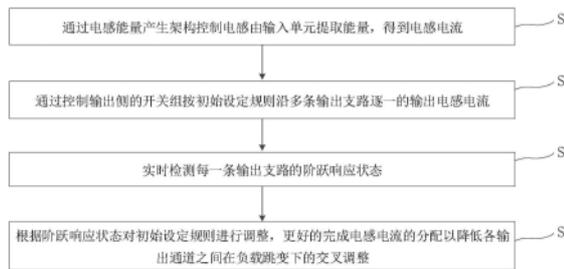
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法

(57) 摘要

本公开提供一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,包括:通过电感能量产生架构控制电感由输入单元提取能量,得到电感电流;通过控制输出侧的开关组按初始设定规则沿多条输出支路逐一的输出电感电流;实时检测每一条输出支路的阶跃响应状态;以及根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整,更好的完成电感电流的分配以降低各输出通道之间在负载跳变下的交叉调整。



1. 一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,包括:  
通过电感能量产生架构控制电感由输入单元提取能量,得到电感电流;  
通过控制输出侧的开关组按初始设定规则沿多条输出支路逐一的输出电感电流;  
实时检测每一条输出支路的阶跃响应状态;以及  
根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整,更好的完成电感电流的分配以降低各输出通道之间在负载跳变下的交叉调整。
2. 根据权利要求1所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,所述初始设定规则包括在设定周期内按顺次顺序沿多条输出支路依次逐一的输出电感电流。
3. 根据权利要求1所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,所述初始设定规则还包括在设定周期内按固定顺序沿多条输出支路依次逐一的输出电感电流。
4. 根据权利要求1所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,当检测到某条输出支路负载的阶跃响应异常时,对该输出支路的能量分配次序进行调整。
5. 根据权利要求4所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,通过检测每一条输出支路的输出电压的变化程度来判定阶跃响应状态。
6. 根据权利要求5所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,当检测到输出支路的输出电压的波动达到或超过稳态时纹波时,判定该输出支路负载阶跃响应异常。
7. 根据权利要求1-4中任一项所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整包括:当判定阶跃响应状态异常时,改变初始设定规则中的电感电流输出顺序。
8. 根据权利要求1-4中任一项所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,所述根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整包括:当判定阶跃响应状态异常时,改变初始设定规则中的电感电流输出顺序,跳过或压缩阶跃响应状态异常的输出支路的输出时间,调整至初始设定规则中下一优先级的输出支路进行输出。
9. 根据权利要求8所述的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,所述根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整还包括:当其他输出支路完成电感电流输出后,在设定周期内的剩余时间继续调整至之前阶跃响应状态异常的输出支路进行输出。

## 单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及电子设备技术领域,尤其涉及一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法。

### 背景技术

[0002] 超紧凑的尺寸和低物料成本为空间有限的可穿戴设备、耳机、物联网和其他电池供电的小型消费电子设备提供非常合适的解决方案。在电源管理芯片中使用一个电感来提供多路输出电压成为一个十分有潜力的方案。但是使用一个电感会增加电路控制的复杂度。除了控制电感传输的能量,还有控制该能量对每一路输出的分配。多输出转换器的功率级可分为能量产生与能量分配两部分。在总负载较大时,电感需要提供极大的电流。在这种情况下,使电感持续工作在连续导通状态下可以获得更高的效率。但是如果电感连续导通,意味着不存在所有输出侧分配能量的开关全部关断的情况,因为如果全部关断,电感电流无法续流,导致电感一侧产生极高的电压,击穿开关。所以每一路输出之间的分配必须紧密相连。在剧烈瞬态跳变下,每一路的占空比都会产生剧烈的变化,导致各路输出产生较大的交叉调整。尤其是在大负载电流情况下,占空比的微小变化就会导致输出电压的剧烈抖动。现有的控制方法都无法在剧烈的占空比变化下精确的调制每一路输出的能量。

### 发明内容

[0003] 基于上述问题,本公开提供了一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,以缓解现有技术中的上述技术问题。

#### [0004] (一)技术方案

[0005] 本公开提供一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,包括:通过电感能量产生架构控制电感到输入单元提取能量,得到电感电流;通过控制输出侧的开关组按初始设定规则沿多条输出支路逐一的输出电感电流;实时检测每一条输出支路的阶跃响应状态;以及根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整,更好的完成电感电流的分配以降低各输出通道之间在负载跳变下的交叉调整。

[0006] 根据本公开实施例,初始设定规则包括在设定周期内按顺次顺序沿多条输出支路依次逐一的输出电感电流。

[0007] 根据本公开实施例,初始设定规则还包括在设定周期内按固定顺序沿多条输出支路依次逐一的输出电感电流。

[0008] 根据本公开实施例,当检测到某条输出支路负载的阶跃响应异常时,对该输出支路的能量分配次序进行调整。

[0009] 根据本公开实施例,通过检测每一条输出支路的输出电压的变化程度来判定阶跃响应状态。

[0010] 根据本公开实施例,当检测到输出支路的输出电压的波动达到或超过稳态时纹波时,判定该输出支路负载阶跃响应异常。

[0011] 根据本公开实施例,根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整包括:当判定阶跃响应状态异常时,改变初始设定规则中的电感电流输出顺序。

[0012] 根据本公开实施例,根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整包括:当判定阶跃响应状态异常时,改变初始设定规则中的电感电流输出顺序,跳过或压缩阶跃响应状态异常的输出支路的输出时间,调整至初始设定规则中下一优先级的输出支路进行输出。

[0013] 根据本公开实施例,根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整还包括:当其他输出支路完成电感电流输出后,在设定周期内的剩余时间继续调整至之前阶跃响应状态异常的输出支路进行输出。

[0014] (二)有益效果

[0015] 从上述技术方案可以看出,本公开单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法至少具有以下有益效果其中之一或其中一部分:

[0016] (1)实现了能量的变序分配;

[0017] (2)在一个固定周期内,改变每一输出支路通道能量分配的次序,将没有发生瞬态的输出的优先级提高,确保了低交叉调整。

## 附图说明

[0018] 图1为单电感多输出(SIMO)直流-直流转换器的电路组成结构示意图。

[0019] 图2为本公开实施例的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法流程图。

[0020] 图3为传统的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法示意图。

[0021] 图4为传统的单电感三路输出直流-直流转换器的能量输出结果示意图。

[0022] 图5为本公开实施例的单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法示意图。

[0023] 图6为本公开实施例的单电感三输出直流-直流转换器的能量输出结果示意图。

## 具体实施方式

[0024] 本公开提供了一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,当负载发生瞬态跳变时,本公开提出的控制方法可实现能量分配顺序的调整,将发生瞬态跳变的通道调整到能量分配次序的后面,优先保证没有发生瞬态的通道的电荷供给。故本公开提出了一种变序能量分配的控制策略,有效降低了各个通道之间的交叉调整。

[0025] 如图1所示,在单电感多输出(SIMO)的DC-DC转换器中,电感电流 $I_L$ 由控制电路控制开关 $S_p$ 和 $S_N$ 的联动,从而控制电感从输入单元 $V_{IN}$ 提取的能量。该电感电流 $I_L$ 通过输出侧各输出支路( $N_1$ 、 $N_2$ 、 $\dots$ 、 $N_i$ )中的开关( $S_1$ 、 $S_2$ 、 $\dots$ 、 $S_i$ )依照一个固定的顺序分配到各输出支路,对各输出支路中的输出电容( $C_1$ 、 $C_2$ 、 $\dots$ 、 $C_i$ )进行充电,为各输出支路上的负载提供输出电压( $V_1$ 、 $V_2$ 、 $\dots$ 、 $V_i$ ),结合图1和图3所示,例如,开关 $S_1$ 闭合,其他开关断开,电感电流流向开关 $S_1$ 所对应的输出支路;接下来,开关 $S_2$ 闭合,其他开关断开,电感电流流向开关 $S_2$ 所对应的输出支路;依照预先设定的顺序,直到开关 $S_i$ 闭合,其他开关断开,电感电流流向开关 $S_i$ 所对应的输出支路。一个设定周期结束后,进入下一个设定周期,不断重复。

[0026] 结合图1和图4所示,给出了一个单电感三输出支路的例子,可以观察到,第一输出支路 $N_1$ 由于优先级高,可以有效完成能量分配,输出电压 $V_1$ 没有任何抖动。但第二输出支路

N2的负载电流发生2A每100ns的跳变,由于第二输出支路N2能量分配的优先级高于第三输出支路N<sub>3</sub>,第二输出支路N2的能量分配会占据一个设定周期内的大部分时间甚至完整的一个周期。这将导致能量分配优先级低的第三输出支路N<sub>3</sub>没有时间进行能量分配,第二输出支路N2的快速阶跃响应导致能量分配占满了剩余时间,初始设定规则中对第三输出支路N<sub>3</sub>的能量分配的时间被完全占用。所以第三输出支路N<sub>3</sub>的输出电压V<sub>3</sub>受输出支路间交叉影响产生了较大的波动而向下跌落。所以在现在的依序能量分配的SIMO设计中必须提前精确预测优先级低的通道所需要的能量,否则无法避免交叉调整问题。而这种精确预测需要极大的数字电路算力,或者极为精确的模拟电路设计。

[0027] 因此,本公开为SIMO转换器提出一种变序能量分配方法。该能量分配方法可以极大的缓解在大负载跳变下的交叉调整。

[0028] 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本公开进一步详细说明。

[0029] 在本公开实施例中,提供一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,结合图2和图1所示,所述能量分配方法,包括:

[0030] 操作S1:通过电感能量产生架构控制电感L由输入单元V<sub>IN</sub>提取能量,得到电感电流I<sub>L</sub>;

[0031] 操作S2:通过控制输出侧的开关组(S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、…S<sub>i</sub>)按初始设定规则沿多条输出支路逐一的输出电感电流;

[0032] 操作S3:实时检测每一条输出支路的阶跃响应状态;以及

[0033] 操作S4:根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整,更好的完成电感电流的分配以降低各输出通道之间在负载跳变下的交叉调整。

[0034] 可选地,所述电感能量产生架构选自Buck架构、Buck-boost架构或Boost架构;例如如图1所示为Buck架构,该Buck架构包括设置于输入单元和电感之间的第一开关和设置于电感和地之间的第二开关。需要说明的是,电感能量产生架构还可以是除Buck架构、Buck-boost架构或Boost架构外其他能实现电感产生能量的架构,本公开并不以此为限。

[0035] 根据本公开实施例,所述电感能量产生架构和开关组在控制电路发出的控制指令信号的作用下工作。

[0036] 可选地,初始设定规则包括在设定周期内按顺次顺序沿多条输出支路(N<sub>1</sub>、N2、…N<sub>i</sub>)依次逐一的输出电感电流;例如依次沿输出支路N<sub>1</sub>、N2、…N<sub>i-1</sub>、N<sub>i</sub>逐一的输出电感电流I<sub>L</sub>。

[0037] 可选地,初始设定规则还包括在设定周期内按固定顺序沿多条输出支路依次逐一的输出电感电流。例如先沿第一输出支路、第三输出支路进行能量分配,再沿第二输出支路、第四输出支路进行能量分配。

[0038] 经过上述能量分配,可以分别对输出电容(C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、…C<sub>i</sub>)进行充电,如图1所示,每条输出支路可连接对应的负载,例如负载可以为中央处理单元(CPU)中的各个内核芯片,当负载工作时,各输出电容向各输出支路对应的负载提供输出电压(V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>、…V<sub>i</sub>)。

[0039] 可选地,实时检测每一条输出支路的阶跃响应状态包括通过检测每一条输出支路的输出电压的变化程度来判定阶跃响应状态。

[0040] 可选地,当检测到输出支路的输出电压的波动达到或超过稳态时纹波时,判定该

输出支路负载阶跃响应异常。

[0041] 可选地,当检测的输出支路的输出电压的波动达到或超过稳态时纹波的2倍时,判定该输出支路阶跃响应异常。

[0042] 可选地,当检测的输出支路的输出电压的波动达到或超过稳态时纹波的1倍时,判定该输出支路阶跃响应异常。

[0043] 可选地,根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整包括:当判定阶跃响应状态异常时,改变初始设定规则中的电感电流在各输出支路的输出顺序。

[0044] 可选地,根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整包括:当判定阶跃响应状态异常时,改变初始设定规则中的电感电流在各输出支路的输出顺序,跳过或压缩阶跃响应状态异常的输出支路的输出时间,调整至初始设定规则中下一优先级的输出支路进行输出。

[0045] 可选地,根据所述阶跃响应状态对所述初始设定规则进行调整还包括:当其他输出支路完成电感电流输出后,在设定周期内的剩余时间继续调整至之前阶跃响应状态异常的输出支路进行输出。

[0046] 本公开为SIMO转换器提出一种变序能量分配策略。该能量分配策略可以极大的缓解在大负载跳变下的交叉调整。在一个固定周期内,所有输出支路( $N_1 \sim N_i$ )分配完成后,如果还有剩余的时间,就对发生瞬态的输出支路再在该周期内重新分配,或者在多个周期内重新分配。如图5所示,以一路发生瞬态为例,给出了分配策略。在一个固定周期内,所有输出支路分配完成后,如果还有剩余的时间,就分配给发生瞬态的一输出支路的输出节点 $N_k$ ,其中k为1~i中的一个。在稳定状态下,该转换器各对输出支路默认按照初始设定规则中的顺序分配能量进行充电。在瞬态发生时,该转换器按照该分配策略可以自动改变能量分配次序。该转换器会先抑制发生瞬态的输出的充电时间,从而确保优先级更低的输出有足够的时间完成电荷控制。然后将剩余的时间再重新分配给发生瞬态的输出,确保瞬态响应性能不受影响。与之前的依序能量分配方法不同,依序能量分配方法不管后面是否还有其他输出需要能量,总是要将发生瞬态的一路优先满足,从而导致优先级低(或优先级靠后)的无法得到满足。而本公开将所有可能受到影响的输出置于更高的优先级,并且在一个固定周期内完成电荷分配,从而大大缓解了交叉调节。图6同样展示了该一个单电感三输出支路的例子,与图4的测试条件完全相同,第二路输出支路 $N_2$ 对应的负载电流发生2A每100ns的跳变,导致第二输出支路 $N_2$ 电压的波动达到或超过稳态时纹波,从而判定该输出支路阶跃响应异常。因此立刻结束对第二输出支路 $N_2$ 的能量分配,调整至第三输出支路 $N_3$ ,使得第三输出支路有效的完成了能量分配,输出电压抖动满足要求;需要说明的是,根据实际转换器中器件的配置参数的不同或转换器实际应用场景的不同,可以在输出支路的输出电压的波动达到或超过稳态时就判定为该输出支路阶跃响应异常;或者也可以在输出支路的输出电压的波动达到或超过稳态纹波的0.1倍、或0.2倍、或0.5倍、或2倍、或3倍判定为该输出支路阶跃响应异常;或者某条输出支路负载即将运行时,相关控制电路会通过检测提前获知该输出支路即将发生负载阶跃异常,从而对变初始设定规则中的分配次序进行调整。通过采用了本公开提出的变序能量分配策略,对比可以发现,相比依序能量分配,本方案交叉调整电压从接近200mV降低到了与稳态纹波相近的水平。

[0047] 本公开基于依序能量分配,提出一种变序能量分配的方法。当负载发生瞬态跳变

时,本公开提出的控制方法可实现能量分配顺序的调整,将发生瞬态跳变的通道调整到能量分配次序的后面,优先保证没有发生瞬态的通道支路的电荷供给。故本公开提出了一种变序能量分配的控制策略,有效降低了各个通道之间的交叉调整。

[0048] 至此,已经结合附图对本公开实施例进行了详细描述。需要说明的是,在附图或说明书正文中,未绘示或描述的实现方式,均为所属技术领域普通技术人员所知的形式,并未进行详细说明。此外,上述对各元件和方法的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状或方式,本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换。

[0049] 依据以上描述,本领域技术人员应当对本公开单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法有了清楚的认识。

[0050] 综上所述,本公开提供了一种单电感多输出直流-直流转换器的能量分配方法,实现了能量的变序分配。在一个固定周期内,改变每一路通道能量分配的次序,将没有发生瞬态的输出的优先级提高,确保了低交叉调整。

[0051] 还需要说明的是,以上为本公开提供的不同实施例。这些实施例是用于说明本公开的技术内容,而非用于限制本公开的权利保护范围。一实施例的一特征可通过合适的修饰、置换、组合、分离以应用于其他实施例。

[0052] 应注意的是,在本文中,除了特别指明的之外,具备“一”元件不限于具备单一的该元件,而可具备一或更多的该元件。

[0053] 此外,在本文中,除了特别指明的之外,“第一”、“第二”等序数,只是用于区别具有相同名称的多个元件,并不表示它们之间存在位阶、层级、执行顺序、或制程顺序。一“第一”元件与一“第二”元件可能一起出现在同一构件中,或分别出现在不同构件中。序数较大的一元件的存在不必然表示序数较小的另一元件的存在。

[0054] 在本文中,除了特别指明的之外,所谓的特征甲“或”(or)或“及/或”(and/or)特征乙,是指甲单独存在、乙单独存在、或甲与乙同时存在;所谓的特征甲“及”(and)或“与”(and)或“且”(and)特征乙,是指甲与乙同时存在;所谓的“包括”、“包含”、“具有”、“含有”,是指包括但不限于此。

[0055] 此外,除非特别描述或必须依序发生的步骤,上述步骤的顺序并无限制于以上所列,且可根据所需设计而变化或重新安排。并且上述实施例可基于设计及可靠度的考虑,彼此混合搭配使用或与其他实施例混合搭配使用,即不同实施例中的技术特征可以自由组合形成更多的实施例。

[0056] 以上所述的具体实施例,对本公开的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本公开的具体实施例而已,并不用于限制本公开,凡在本公开的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。

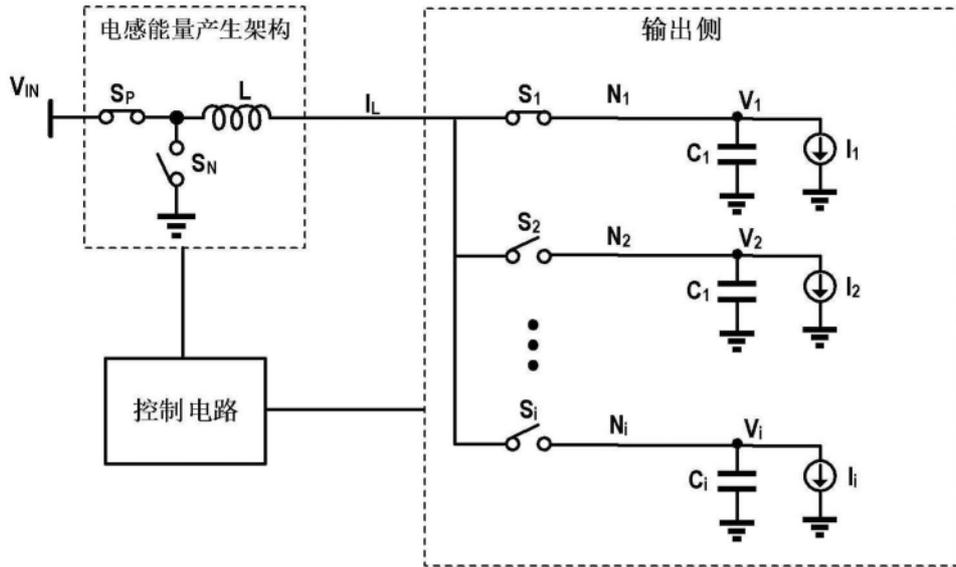


图1

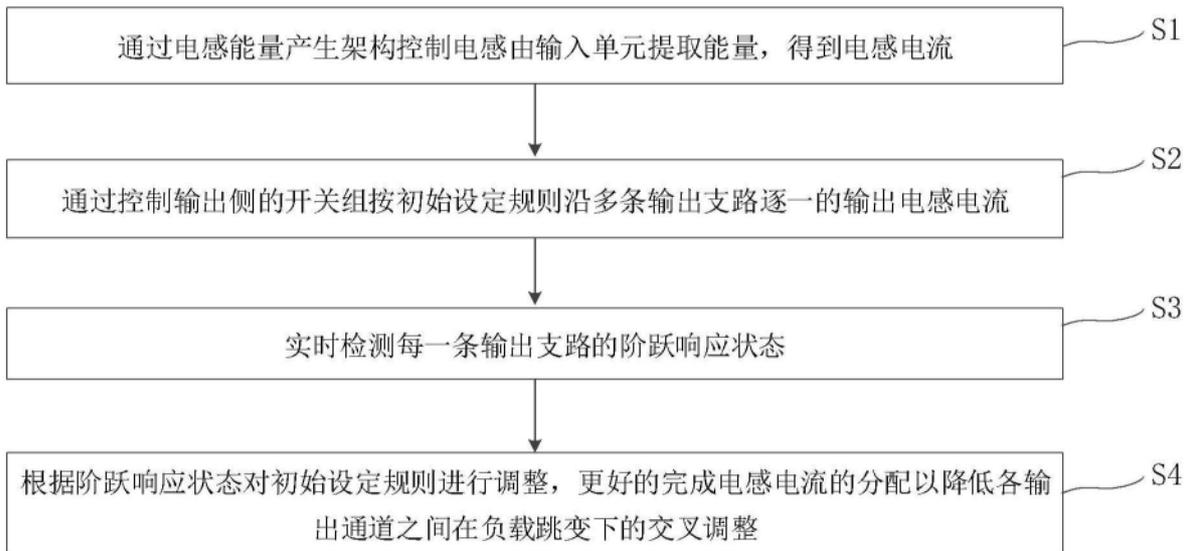


图2

### 依序能量分配

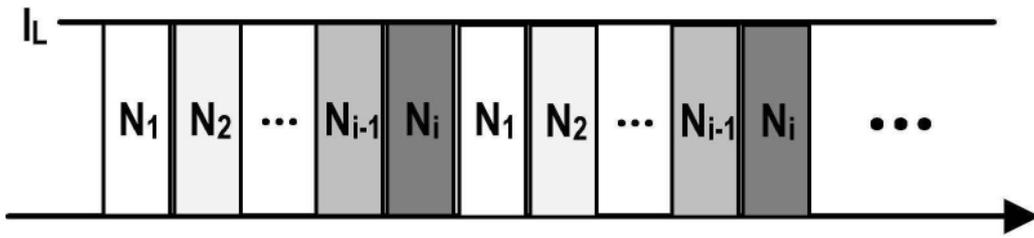


图3

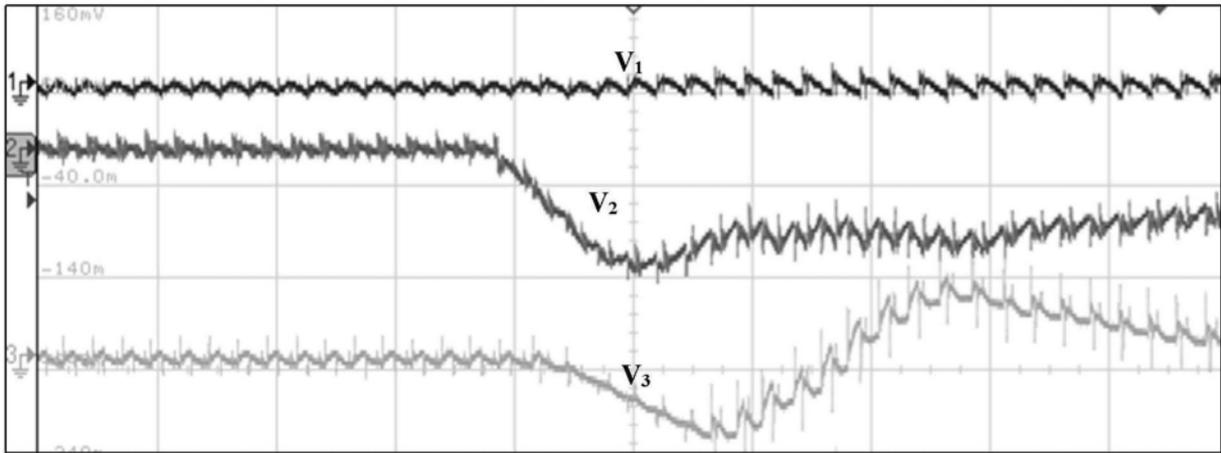


图4

### 变序能量分配

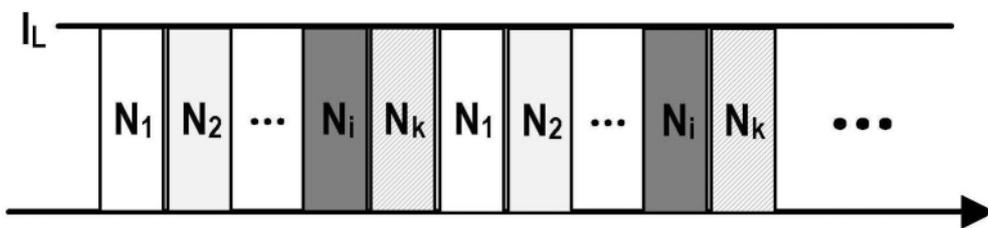


图5

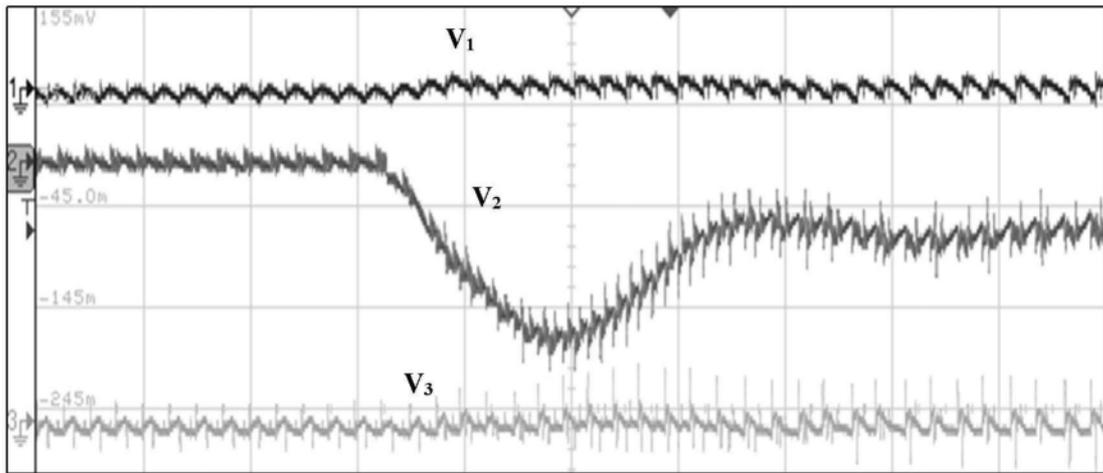


图6