



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107911023 A

(43)申请公布日 2018.04.13

(21)申请号 201711084470.0

(22)申请日 2017.11.07

(71)申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 李斌 张伟鑫

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 李素兰

(51)Int.Cl.

H02M 3/158(2006.01)

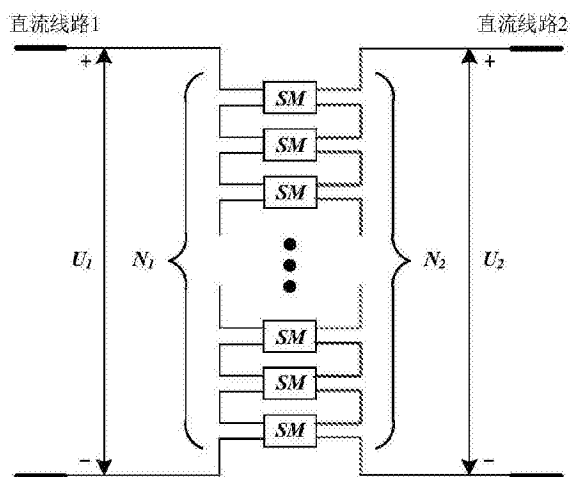
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

级联模块化多电平动态投切DC-DC变压器

(57)摘要

本发明公开了一种级联模块化多电平动态投切DC-DC变压器,所述变压器包括变压器A、B两部分,所述变压器A、B两部分之间的级联部分安装稳压电容C;所述变压器A、B均包含一组串联的5个变压孑模块,变比分别设置为k₁、k₂:当两级变压器分别配置N_{SUM1}、N_{SUM2}个变压孑模块时,变压效果等同于单个配置了N_{SUM1}×N_{SUM2}个变压孑模块的变压器。与现有技术相比,本发明借助变压器级联,大幅减少孑模块数量,无需交流变压器,经济性优势显著,同时由于大幅减少所需电容数量,能有效减小直流变压器体积,利于推广应用;通过动态调节级联变压器变比即可实现变比动态调节。



1. 一种级联模块化多电平动态投切DC-DC变压器,其特征在于,所述变压器包括变压器A、B两部分,所述变压器A、B两部分之间的级联部分安装稳压电容C;所述变压器A、B均包含一组串联的5个变压分子模块,变比分别设置为 k_1 、 k_2 :

$$\frac{U_2}{U_1} = k_1, \quad \frac{U_3}{U_2} = k_2$$

其中, U_1 为变压器一次侧电压, U_2 为级联部分电压, U_3 为变压器二次侧电压;单个变压器变比 k_1 、 k_2 调节范围满足变压分子模块数量限制 $\frac{1}{4} < k_1, k_2 < \frac{4}{1}$;

当两级变压器分别配置 N_{SUM1} 、 N_{SUM2} 个变压分子模块时,变压效果等同于单个配置了 $N_{SUM1} \times N_{SUM2}$ 个变压分子模块的变压器;

所述变压分子模块为由两个半桥子模块以及设置于这两个子模块之间的隔离开关 S_1 、 S_2 构成的可实现功率双向流动的对称结构;所述半桥子模块与隔离开关之间并联设置电容 C_1 、 C_2 ;其中,单个半桥子模块中除了包含两个串联的由IGBT T_1 、 T_2 及反向并联二极管 D_1 、 D_2 构成的开关器件以外,还包括一个由IGBT T_3 及反向并联二极管 D_3 构成的开关器件。

级联模块化多电平动态投切DC-DC变压器

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子领域,特别涉及一种级联模块化的多电平动态投切DC-DC变压器。

背景技术

[0002] 可再生能源具有波动性、间歇性特点。风能、光伏等新能源大规模接入电网,对交流电网的安全稳定运行产生深远影响。柔性直流输电技术快速发展,为实现风能、光伏发电大规模集中接入,电网互联,城市及孤岛供电等问题提供了有效解决方案。然而柔性直流输电技术仍然存在若干问题亟需解决。

[0003] 类似于交流电网中的交流变压器,DC-DC变压器是实现直流多电压等级变换以及直流潮流控制的关键设备。目前,国内外学者提出众多DC-DC变换拓扑,然而体积庞大,经济性差等问题仍未得到有效解决。针对直流变压器实现直流电压等级变换以及当前存在的问题,本方案基于一种模块化多电平动态投切DC-DC直流变压原理,设计一种级联模块化多电平动态投切DC-DC变压器。

[0004] 国内外学者已经提出多种DC-DC变压器拓扑,其中隔离型模块化多电平DC-DC变压器较为广泛接受,但是存在结构复杂,体积较大,经济性较差,控制系统复杂的问题。

发明内容

[0005] 针对目前柔性直流系统中需要解决的直流电压等级变换,兼顾设备体积与经济性,本发明提出一种级联模块化多电平动态投切DC-DC变压器,针对直流电网亟待解决的直流电压等级变换功能,考虑设备体积及经济性设计一种级联子模块动态投切的直流变压器。

[0006] 本发明提出的一种级联模块化多电平动态投切DC-DC变压器,所述变压器包括变压器A、B两部分,所述变压器A、B两部分之间的级联部分安装稳压电容C;所述变压器A、B均包含一组串联的5个变压子模块,变比分别设置为 k_1 、 k_2 :

$$[0007] \quad \frac{U_2}{U_1} = k_1, \quad \frac{U_3}{U_2} = k_2$$

[0008] 其中, U_1 为变压器一次侧电压, U_2 为级联部分电压, U_3 为变压器二次侧电压;单个变压器变比 k_1 、 k_2 调节范围满足变压子模块数量限制 $\frac{1}{4} < k_1, k_2 < \frac{4}{1}$;

[0009] 当两级变压器分别配置 N_{SUM1} 、 N_{SUM2} 个变压子模块时,变压效果等同于单个配置了 $N_{SUM1} \times N_{SUM2}$ 个变压子模块的变压器;

[0010] 所述变压子模块为由两个半桥子模块以及设置于这两个子模块之间的隔离开关 S_1 、 S_2 构成的可实现功率双向流动的对称结构;所述半桥子模块与隔离开关之间并联设置电容 C_1 、 C_2 ;其中,单个半桥子模块中除了包含两个串联的由IGBT T_1 、 T_2 及反向并联二极管 D_1 、 D_2 构成的开关器件以外,还包括一个由IGBT T_3 及反向并联二极管 D_3 构成的开关器件。

[0011] 与现有技术相比,本发明具备以下有益效果:

[0012] 1、借助变压器级联,大幅减少子模块数量,无需交流变压器,经济性优势显著,同时由于大幅减少所需电容数量,能有效减小直流变压器体积,利于推广应用;

[0013] 2、通过动态调节级联变压器变比即可实现变比动态调节。

附图说明

[0014] 图1为模块化多电平动态投切DC-DC变压器基本电路拓扑图;

[0015] 图2为DC-DC直流变压器子模块结构图;

[0016] 图3为子模块工作状态示意图;(a)子模块工作状态1、(b)子模块工作状态2、(c)子模块工作状态3、(d)子模块工作状态4;

[0017] 图4为本发明的级联模块化多电平DC-DC变压器电路拓扑图;

[0018] 图5为单级与两级级联变压器变比k范围对比效果图。

具体实施方式

[0019] 下面将结合附图对本发明的实施方式作进一步的详细描述。

[0020] 如图1所示,为模块化多电平动态投切DC-DC变压器电路拓扑图。该DC-DC变压器由N个子模块串联组成, U_1 、 U_2 分别为一次侧、二次侧电压; N_1 、 N_2 为一次侧、二次侧投入的子模块数量。

[0021] 如图2所示,为DC-DC直流变压器子模块结构图。DC-DC子模块由两个半桥子模块及中间隔离开关构成,隔离开关 S_1 , S_2 由IGBT与反向并联二极管构成。DC-DC子模块结构对称,可实现功率双向流动。

[0022] 为便于叙述,将图2所示DC-DC子模块中两个半桥结构称为一次侧子模块和二次侧子模块。此处半桥子模块由传统MMC换流站半桥子模块结构中增加由 T_3 , D_3 构成的开关器件构成,以阻止某些工作状态下,电流在一、二次侧子模块间的流动。

[0023] 单个子模块中包含多个由IGBT及反向并联二极管构成的开关器件。当功率由一次侧流向二次侧时,借助开关器件导通关断,实现一、二次侧子模块投入或切除。依据子模块两侧半桥模块的不同投入切除状态,可以将子模块分为四种不同的工作状态:

[0024] 工作状态1:

[0025] 如图3(a)所示,一次侧子模块处于投入状态;二次侧子模块处于切除状态; S_1 , S_2 处于关断状态。此时,一次侧子模块电容 C_1 充电,电容电压 U_{C1} 升高;二次侧子模块电容 C_2 不进行充放电,电容电压 U_{C2} 保持不变。

[0026] 工作状态2:

[0027] 如图3(b)所示,一次侧子模块处于切除状态;二次侧子模块处于投入状态; S_1 , S_2 处于关断状态。此时,一次侧子模块电容 C_1 不进行充放电,电容电压 U_{C1} 保持不变;二次侧子模块电容 C_2 放电,电容电压 U_{C2} 降低。

[0028] 工作状态3:

[0029] 如图3(c)所示,一、二次侧子模块均处于投入状态; S_1 , S_2 处于关断状态。此时,一次侧子模块电容 C_1 充电,电容电压 U_{C1} 升高;二次侧子模块电容 C_2 放电,电容电压 U_{C2} 降低。

[0030] 工作状态4:

[0031] 如图3(d)所示,一、二次侧子模块均处于切除状态;与前三个工作状态不同,S1,S2处于导通状态。此时,一、二次侧子模块电容不与DC-DC变压器一、二次侧连接电网进行能量交换,UC1大于UC2,此时由一次侧子模块电容C1向二次侧子模块电容C2进行充电,能量由一次侧子模块转移至二次侧,当UC1等于UC2时,充电过程结束。在工作状态4下,实现DC-DC变压器功率由一次侧流向二次侧,且维持两侧子模块电容电压相等。

[0032] 上述子模块结构允许一、二次侧子模块独立控制,彼此投切状态互不影响。

[0033] 本发明中的DC-DC变压器所基于的电压变换原理如下:

[0034] 模块化多电平动态投切DC-DC变压器一、二次侧独立决定子模块投入或切除。一、二次侧直流电压U₁、U₂满足:

$$\begin{aligned} U_1 &= N_1 U_{C1} \\ U_2 &= N_2 U_{C2} \end{aligned} \quad (1)$$

[0036] 式中,N₁、N₂表示一二次侧分别投入的子模块数量,U_{C1}、U_{C2}为两侧子模块电容电压。直流电压器变比k满足:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1 U_{C1}}{N_2 U_{C2}} = \frac{1}{k}$$

[0038] 由于一二次侧子模块电容电压近似相等,则上式可表示为:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{k} \quad (2)$$

[0040] 由式(2)变压器一、二次侧投入子模块数量比等于直流变压器变比。通过改变一二次侧投入子模块数量,即可对变比k进行调节。

[0041] 本发明中的DC-DC子模块的投切及均压控制原理如下:

[0042] DC-DC变压器对两侧子模块电容电压实时排序,依据最近电平调制(Nearest Level Modulation,NLM)决定半桥子模块投切状态并实现子模块均压控制。

[0043] 具体而言,当功率由一次侧流向二次侧时,依据排序结果,优先投入子模块电容电压较低的半桥子模块,一次侧投入状态子模块处于充电状态,子模块电容电压上升;而电容电压较高的子模块则处于切除状态,可能处于工作状态2或4,若处于工作状态4,则子模块电容电压下降,当低于投入状态子模块时,切换为投入状态。

[0044] 二次侧投入状态子模块处于放电状态,依据排序结果,优先投入子模块电容电压较高的半桥子模块,子模块电容电压下降;而电容电压较低子模块则处于切除状态,可能处于工作状态1或4,若处于工作状态4,则子模块电容电压上升,当高于投入状态子模块时,切换为投入状态。

[0045] 工作状态4是DC-DC变压器一二次侧能量交换的关键环节。由于处于工作状态4时,两侧半桥子模块均处于切除状态,故要求两侧子模块保留一定冗余裕度,不可全部投入。

[0046] 如图4所示,变压器A、B级联部分安装稳压电容C;变压器A、B均包含一组串联的5个变压子模块,变比分别为k₁、k₂:

$$\frac{U_2}{U_1} = k_1 \quad (3)$$

$$[0048] \quad \frac{U_3}{U_2} = k_2 \quad (4)$$

[0049] 单个变压器变比 k_1 、 k_2 调节范围满足变压子模块数量限制 $\frac{1}{4} < k_1, k_2 < \frac{4}{1}$ 。而借助两级MMDT实现电压变换时：

$$[0050] \quad \frac{U_3}{U_1} = \frac{U_2}{U_1} \times \frac{U_3}{U_2} = k_1 k_2 \quad (5)$$

[0051] 此时变比 $k = k_1 k_2$ ，即电压变比范围为 $\frac{1}{16} < k < \frac{16}{1}$ ，等同于单个配置了(16+1)个子模块的MMDT。若不考虑冗余度，当两级变压器分别配置 N_{SUM1} 、 N_{SUM2} 个变压子模块时，变压效果等同于单个配置了 $N_{SUM1} \times N_{SUM2}$ 个变压子模块的变压器。本发明的级联模块化多电平DC-DC变压器，其变压器基本单元变比与子模块数目密切相关。直流变压器级联运行方式可利用较少变压子模块数目，实现较大的变比调节范围。

[0052] 如图5所示，将单个配置2N个变压子模块变压器的变比范围和由两个分别配置N个变压子模块变压器级联所能实现的变比范围进行比较，可见级联结构可显著拓宽变比 k 控制范围。

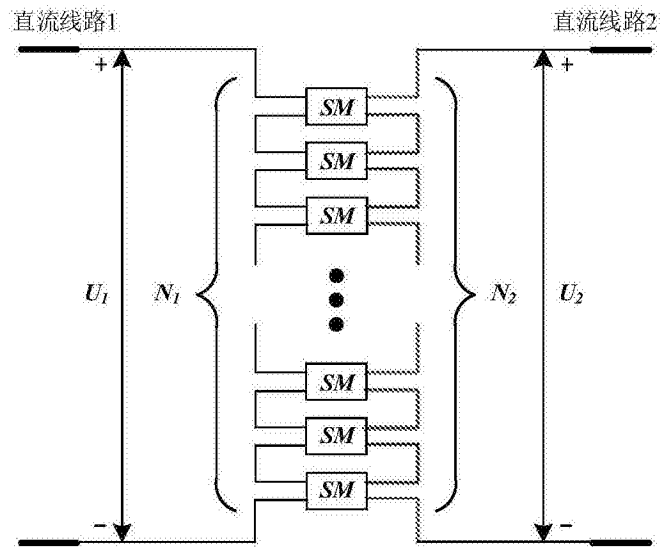


图1

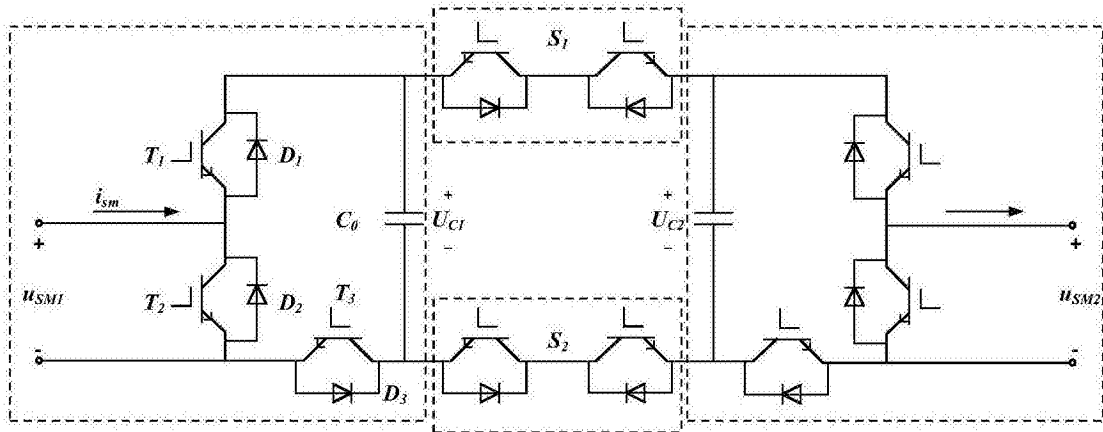
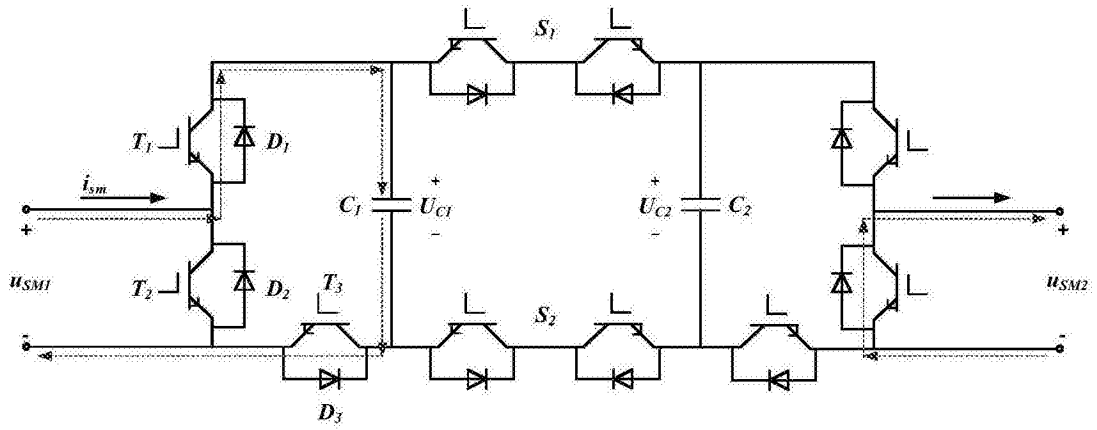
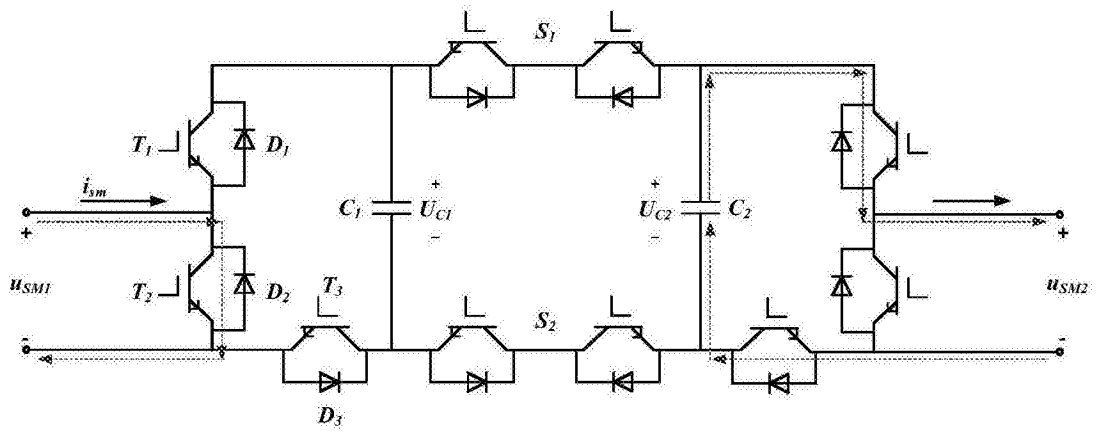


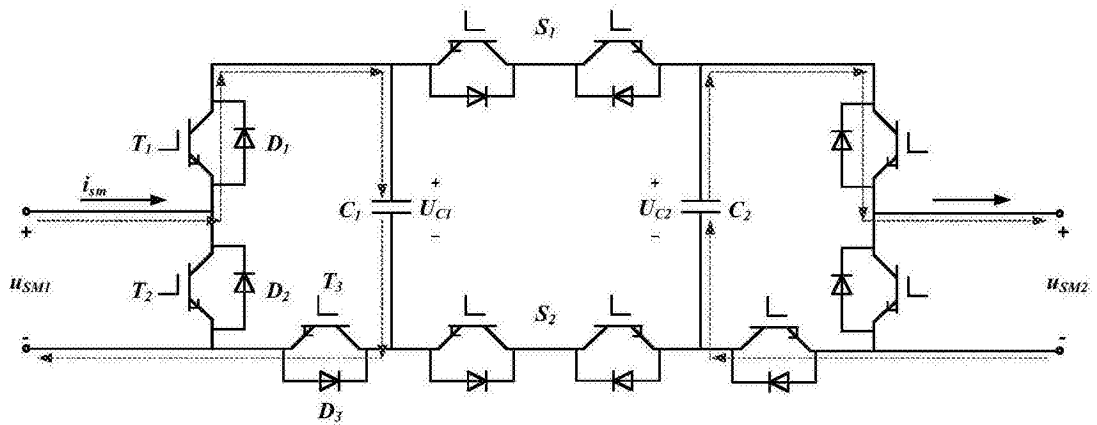
图2



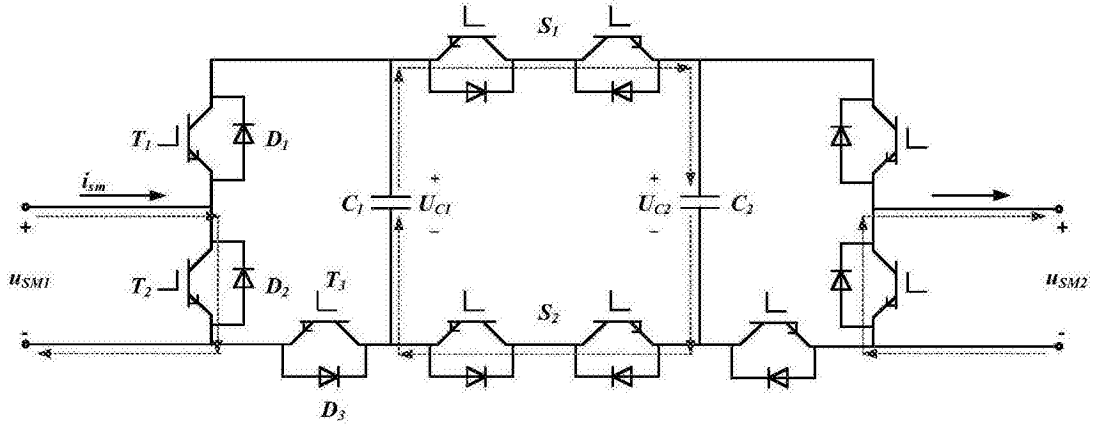
(a)



(b)



(c)



(d)

图3

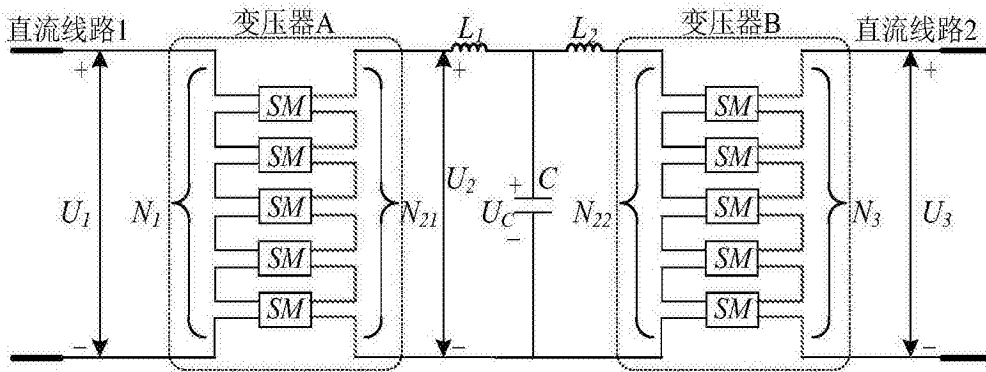


图4

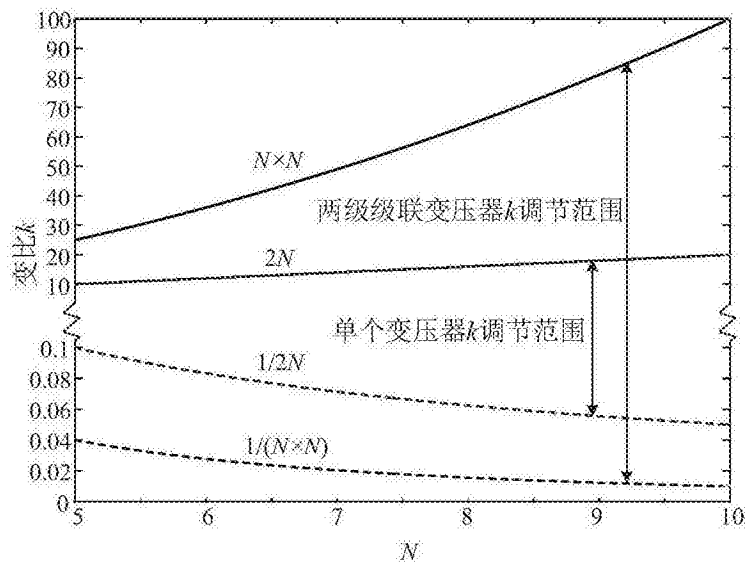


图5