



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112072669 B

(45) 授权公告日 2022.06.07

(21) 申请号 202010954648.8

(22) 申请日 2020.09.11

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112072669 A

(43) 申请公布日 2020.12.11

(73) 专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号
专利权人 国网陕西省电力公司电力科学研
究院

(72) 发明人 李大伟 吴子豪 王辰曦 唐露甜
梁得亮 柳轶彬 张立石 蔡生亮
高亚晨 周堃

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200
专利代理师 马贵香

(51) Int.Cl.

H02J 3/12 (2006.01)

H02J 3/01 (2006.01)

H02P 13/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104333006 A, 2015.02.04

CN 106712089 A, 2017.05.24

CN 202550540 U, 2012.11.21

CN 103295748 A, 2013.09.11

张颖等.《应用于直流电网的新型直流自耦
变压器》.《电网技术》.2019,第43卷(第9期),第
3297-3304页.

审查员 郭丽雅

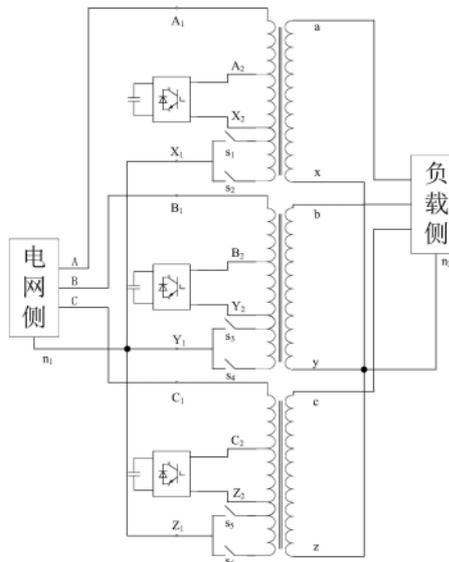
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变
压器及方法

(57) 摘要

本发明提供的一种可变比电压调节和电流
补偿的自耦变压器及方法,因为采用了双向软开
关(由IGBT与二极管反并联而成)代替了机械开
关,通过改变PWM控制器设置的占空比D和变压器
的变比 N_1/N_2 ,实现对电网电压的可变比控制。进
而在电网侧各种原因产生电网电压波动的情况
下,维持电压不发生畸变。基于有源电力滤波器
的可变比电压调节电流补偿混合式自耦变压器
是一种新型变压器,将传统变压器与电力电子技
术相结合,具有很好的可控性,可用于解决目前
普遍存在的电能质量问题。该变压器能够同时实
现电压侧的无级调压电压补偿和电流补偿功能。



1. 一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,其特征在于,包括主边绕组和副边绕组,所述主边绕组和电网侧连接,副边绕组和负载侧连接;

主边绕组中的每一相串联有一个无极调压控制模块,所述无极调压控制模块的末端连接至中性点;每一个无极调压控制模块包括并联的第一开关和第二开关,所述第一开关和第二开关均为双向可控电子软开关,第一开关和第二开关各自连接有一个PWM脉冲宽度调制块;

所述自耦变压器的期望变比为 N ,第一开关连接绕组的变比为 N_1 ,第二开关连接绕组的变比为 N_2 , $N_1 < N < N_2$;第一开关的占空比为 D ,第二开关的占空比为 $1-D$;

主边绕组中的每一相中部分绕组并联有一个有源电力滤波器。

2. 根据权利要求1所述的一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,其特征在于,每一个双向可控电子软开关包括两个反向串联的绝缘栅双极型晶体管,每一个绝缘栅双极型晶体管反向并联一个二极管。

3. 根据权利要求2所述的一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,其特征在于,所述PWM脉冲宽度调制块控制绝缘栅双极型晶体管中的门级开关。

4. 根据权利要求1所述的一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,其特征在于, N_1 和 N_2 之间的差值为 $DN_1 + (1-D)N_2$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,其特征在于,有源电力滤波器包括三个滤波电路,每一个滤波电路包括一个电感和电容,三个电感同时和PWM变流器连接,PWM变流器连接至电容;三个滤波电路连接至PWM变流器。

6. 根据权利要求5所述的一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,其特征在于,所述PWM变流器并联有一个母线电容。

7. 一种基于权利要求1所述自耦变压器的可变比电压调节和电流补偿方法,其特征在于,当自耦变压器需要进行升压时,同时打开三相的第一开关,闭合三相的第二开关,PWM脉冲宽度调制块调节占空比 D 获得目标电网电压;当自耦变压器需要进行降压时,同时打开三相的第二开关,闭合三相的第一开关,PWM脉冲宽度调制块调节占空比 $1-D$ 获得目标电网电压;

当副边绕组连接的负载突变导致副绕组边三相不平衡时,所述有源电力滤波器对自耦变压器进行电流的补偿。

8. 根据权利要求7所述的可变比电压调节和电流补偿方法,其特征在于,PWM脉冲宽度调制块调节第一开关和第二开关中的门级开关。

9. 根据权利要求7所述的可变比电压调节和电流补偿方法,其特征在于,当电流需要补偿时,通过全桥逆变电路产生的三相电流进行补偿。

10. 根据权利要求7所述的可变比电压调节和电流补偿方法,其特征在于,当一次侧电压发生畸变时,向占空比 D 中注入三次谐波。

一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器及方法

【技术领域】

[0001] 本发明属于变压器技术领域,具体涉及一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器及方法。

【背景技术】

[0002] 随着智能电网的发展和电力电子技术的发展,一方面,网络中引入了越来越多的智能设备,但随之而来的,它也会引起很多问题,例如电压骤降或骤升以及功率因数降低。在配电网中,配电变压器起着至关重要的作用,传统的配电变压器在电网电流和自定义电压方面没有可控性,无法满足智能电网的需求。

[0003] 除此之外,现有的配电变压器,往往在一次侧直接采用PWM逆变,对电压幅值大小进行调制,来实现对电网电压的控制。但是,现有的配电变压器对各开关的开关频率和耐压程度均有较高要求,导致了各开关器件的高损坏率,降低了系统的稳定性和电能质量。

【发明内容】

[0004] 本发明的目的在于克服上述现有技术的缺点,提供一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器及方法,用于解决现有技术中传统的配电变压器在电网电流和自定义电压方面没有可控性,难以满足智能电网需求,且开关器件损坏率高的技术问题。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案予以实现:

[0006] 一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,包括主边绕组和副边绕组,所述主边绕组和电网侧连接,副边绕组和负载侧连接;

[0007] 主边绕组中的每一相串联有一个无极调压控制模块,所述无极调压控制模块的末端连接至中性点;每一个无极调压控制模块包括并联的第一开关和第二开关,所述第一开关和第二开关均为双向可控电子软开关,第一开关和第二开关各自连接有一个PWM脉冲宽度调制块;

[0008] 所述自耦变压器的期望变比为 N ,第一开关连接绕组的变比为 N_1 ,第二开关连接绕组的变比为 N_2 , $N_1 < N < N_2$;第一开关的占空比为 D ,第二开关的占空比为 $1-D$;

[0009] 主边绕组中的每一相中部分绕组并联有一个有源电力滤波器。

[0010] 本发明的进一步改进在于:

[0011] 优选的,每一个双向可控电子软开关包括两个反向串联的绝缘栅双极型晶体管,每一个绝缘栅双极型晶体管反向并联一个二极管。

[0012] 优选的,所述PWM脉冲宽度调制块控制绝缘栅双极型晶体管中的门级开关。

[0013] 优选的, N_1 和 N_2 之间的差值为 $DN_1 + (1-D)N_2$ 。

[0014] 优选的,有源电力滤波器包括三个滤波电路,每一个滤波电路包括一个电感和电容,三个电感同时和PWM变流器连接,PWM变流器连接至电容;三个滤波电路连接至PWM变流器。

[0015] 优选的,所述三相全桥逆变电路并联有一个母线电容。

[0016] 一种上述自耦变压器的可变比电压调节和电流补偿方法,当自耦变压器需要进行升压时,同时打开三相的第一开关,闭合三相的第二开关,PWM脉冲宽度调制块调节占空比D获得目标电网电压;当自耦变压器需要进行降压时,同时打开三相的第二开关,闭合三相的第一开关,PWM脉冲宽度调制块调节占空比 $1-D$ 获得目标电网电压;

[0017] 当副边绕组连接的负载突变导致副绕组边三相不平衡时,所述有源电力滤波器对自耦变压器进行电流的补偿。

[0018] 优选的,PWM脉冲宽度调制块调节第一开关和第二开关中的门级开关。

[0019] 优选的,当电流需要补偿时,通过全桥逆变电路产生的三相电流进行补偿。

[0020] 优选的,当一次侧电压发生畸变时,向占空比D中注入三次谐波。

[0021] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0022] 本发明提供的一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,因为采用了双向软开关(由IGBT与二极管反并联而成)代替了机械开关,通过改变PWM控制器设置的占空比D和变压器的变比 N_1 、 N_2 ,实现对电网电压的可变比控制。进而在电网侧各种原因产生电网电压波动的情况下,维持电压不发生畸变。基于有源电力滤波器的可变比电压调节电流补偿混合式自耦变压器是一种新型变压器,将传统变压器与电力电子技术相结合,具有很好的可控性,可用于解决目前普遍存在的电能质量问题。该变压器能够同时实现电压侧的无级调压电压补偿和电流补偿功能。

[0023] 进一步的,每一个双向可控电子软开关反向并联一个二极管,以实现双向导通的目的。

[0024] 进一步的, N_1 和 N_2 之间的差值范围为变压器的可调控范围。

[0025] 进一步,三相变压器一次侧与电流补偿器相连,当负载侧的电流发生畸变的时候,为了保证电能质量,通过电流控制PWM变流器产生补偿的电流,再通过LC滤波器反馈电流到负载侧,利用磁势平衡原理保证负载电流始终是三相正弦的电流。

[0026] 进一步的,三相全桥逆变电路并联有一个母线电容并联一个母线电容进行供电。

[0027] 进一步,所有的器件(包括双向开关、电感、电容)都是较易获得的,工程设计便于实现,当某一个器件损坏的时候,可以很方便的更换,提高了系统的易维护性。

[0028] 本发明还公开了一种可变比电压调节和电流补偿方法,该方法通过改变PWM控制器设置的占空比D和变压器的变比 N_1 、 N_2 ,实现对电网电压的可变比控制。进而在电网侧各种原因产生电网电压波动的情况下,维持电压不发生畸变。

[0029] 进一步的,在电网侧电压发生畸变和不对称情况时,可以通过在占空比D信号中注入一定的三次谐波来实现一定范围内的调相和谐波治理功能。

【附图说明】

[0030] 图1为无级调压电流补偿混合式自耦变压器的整体结构示意图。

[0031] 图2为双向可控电子软开关连接图。

[0032] 图3为电流补偿器APF整体结构图。

【具体实施方式】

[0033] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0034] 在本发明的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制;术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性;此外,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0035] 本发明公开了一种可变比电压调节和电流补偿的自耦变压器,该变压器为基于有源电力滤波器的可变比电压调节电流补偿混合式自耦变压器(如图1所示),主要由四部分组成,分别为三相三绕组的变压器 T_1 ,一次侧无级调压控制模块、一次侧电流补偿模块和二次侧的负载模块。其中:

[0036] 每相的无级调压控制模块由两个高频双向可控电子软开关和两个PWM脉冲宽度调制块(控制门级)组成,一个双向可控电子软开关连接有一个PWM脉冲宽度调制块。每一个双向可控电子软开关由两个绝缘栅双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)反向串联而成,为实现双向可控功能,在每个IGBT上反向并联一个二极管,其连接方式如图2所示。每一相中的两个双向可控电子软开关分别为第一开关和第一开关。

[0037] 以A相为例,两个双向可控电子软开关分别为开关 S_1 和开关 S_2 ,即第一开关为开关 S_1 ,第二开关为开关 S_2 ,开关 S_1 、 S_2 用来控制变压器变比。假设需求的配电变压器的期望变比为 N ,则开关 S_1 处的变比为 N_1 ,开关 S_2 处的变比为 N_2 ,三者的大小关系为 $N_1 < N < N_2$ 。因此,当需要进行升压时,打开开关 S_1 ,闭合开关 S_2 ,通过合适的占空比 D 即可得到需求的电网电压。同理,当需要进行降压时,打开开关 S_2 ,闭合开关 S_1 ,通过合适的占空比 $1-D$ 即可得到系统需求的电网电压。通过两开关轮流开断,实现对电压的升降无级控制。当电网电压突变时,保证了二次侧电压不会突升突降,有效提高了电能质量。在B相和C相中, S_1 分别对应 S_3 和 S_4 , S_2 分别对应 S_4 和 S_6 。

[0038] 一次侧并联的共耦的电流补偿变流器APF的结构如图3所示,包括一个LC滤波电路、一个PWM变流器、母线电容和PWM变流器。LC滤波电容与主要电路PWM变流器串联过滤谐波,母线电容并联于全控桥保证上下桥臂电位,PWM变流器则接入全控桥中的IGBT的门极作为控制信号控制其开断。当二次侧负载突变导致负载三相不平衡时,为防止负载电流发生畸变,根据磁势平衡原理,一次侧并联的耦合的电流补偿器,通过全桥逆变电路产生相应相位和大小三相电流对系统进行无功补偿。具体原理是在负载侧装设电流互感器,与电网电压比较相位后通过锁相环计算出需要补偿的电流的相位和大小。根据计算的结果,控制PWM变流器脉冲宽度调制的门级信号开通和关断时间,继而调整幅值和相位进行补偿。具体计算补偿电流相位的方法包括1)基于瞬时无功功率理论及其衍生算法;2)基于离散傅里叶变换的方法;

[0039] 3)基于人工神经网络的方法等,这些方法均有一定的优缺点,具体采用哪种根据实际情况确定。整个电流补偿由PWM变流器产生并作用于一次侧。

[0040] 更为具体的,如图1所示,本发明所述一种基于有源电力滤波器的可变比电压调节电流补偿混合式自耦变压器,变压器的主体部分为一个三相三绕组变压器 T_1 ,包括一个在

一次侧与电网相连的主边绕组,和一个在二次侧与负载侧相连的副边绕组,以及和与一次侧并联的一个电流补偿绕组。具体的包括A相一次绕组 A_1 、B相一次绕组 B_1 、C相一次绕组 C_1 ,A相电流补偿绕组 A_2 、B相电流补偿绕组 B_2 、C相电流补偿绕组 C_2 ,a相负载绕组a、b相负载绕组b、c相负载绕组c。电网侧的中性点为 n_1 ,负载侧中性点为 n_2 。一次绕组各相首/末端子依次为A/X、B/Y、C/Z,二次侧绕组各相首/末端子依次为a/x、b/y、c/z。A,B,C各相的一次侧绕组连接的双向可控电子软开关分别为 $S_1, S_2; S_3, S_4; S_5, S_6$ 。

[0041] 如图1所示,一次侧绕组的首端A/B/C都与电网端相连,而其末端在连接双向可控电子软开关后与中性点相连。以A相为例,双向开关 S_1, S_2 开通时的变压器匝数比为 N_2 和 N_1 。当 S_1 闭合的时候, S_2 处于关断状态,通过反向并联的二极管进行续流,对应变压器的升压工作状态;当 S_2 闭合的时候, S_1 处于关断状态,通过反向并联的二极管进行续流,对应传统变压器的工作状态。如果有需要,则根据实际情况增加适当匝数比和其对应的开关 S_3 作为降压工作状态。

[0042] 以此范例来计算一下理论上的降压范围:在调压(包括升压和降压)的工作状态下, S_1, S_2 必须轮流导通。如图1所示,假设 S_1 导通的占空比为D,那么 S_2 导通的占空比为 $1-D$,在本案例的两个双向可控电子软开关对应的绕组匝数比条件(N_1, N_2)下,无极调压的范围在 $N_1 \sim N_2$ 之间, N_1 和 N_2 之间的差值为 $DN_1 + (1-D)N_2$ 的范围内实现无级调压的电压补偿。如果出现谐波,利用三相对称性,向变压器加入三相谐波,实现一定的无功补偿。根据具体情况以及历史需求,设计不同的匝数变比,即能实现对电压的无级调控。

[0043] 本发明中的双向开关器件 S_n ($n=1, 2, 3, \dots, 6$)的示意图如图2所示,两个IGBT反向并联,之后每个IGBT处反向并联一个二极管,目的是实现双向导通。两个IGBT按照电网频率以此进行开断,当一号IGBT开通时,二号IGBT关断,由二号IGBT处反并联的二极管进行续流,反之亦然。通过IGBT的门级开关,利用PWM控制器对各个双向开关器件 S_n 进行控制,由此达到双向可控连通的效果。从而在交流电压源的高频软开关控制中正常使用。

[0044] 本发明中的电流补偿器APF的结构图如图3所示,采用的是有源电力滤波器结构。有源电力滤波器是一种无功补偿装置,它能够发出或吸收无功功率,并且其输出可以变化以控制电力系统中的特定参数。分别由三相LC低通滤波器,三相全桥逆变电路,母线上电容PWM控制器组成。其中三相低通滤波器由电感 L_1, L_2, L_3 和电容 C_1, C_2, C_3 组成。电流补偿侧绕组通过三相低通滤波器分别和三相全桥逆变器的三个桥臂的中点相连,由电容 C_4 供电。

[0045] 一次侧并联的共耦的电流补偿变流器APF的结构如图3所示,包括一个LC滤波电路、一个PWM变流器、母线电容和PWM控制器构成,其中,滤波电路由电感 L_1, L_2, L_3 和电容 C_1, C_2, C_3 构成。电流补偿器的左端分别与电网一次侧的 A_2, B_2, C_2 相连,串联LC低通滤波结构后接入三相全控桥的三个桥臂的中性点。在全控桥三个桥臂的公共线端口,并联一个母线电容 C_4 。LC滤波电容与主要电路PWM变流器串联过滤高次谐波,母线电容并联于全控桥保证上下桥臂电位,PWM控制器则接入全控桥中的IGBT的门极作为控制信号控制其开断。

[0046] 不平衡问题补偿的具体原理是在负载侧装设电流互感器,获得负载电流的大小和相位。将负载电流和电网电压通过乘法器相乘。根据正弦函数的积化和差公式,可以看出两个波形相乘可以化为两个不同频率的正弦函数相加,其中一个正弦函数的角频率为负载电流和电网电压相加,另一个正弦函数的角频率为负载电流和电网电压相减。

[0047] 需要得到的是相减的波形,用来进行电流补偿。于是可以使用低通滤波器LC将相

加的那个高频率谐波过滤,即可对不平衡进行补偿的补偿电流。根据计算的结果,控制PWM脉冲宽度调制的门级信号开通和关断时间,继而调整幅值和相位进行补偿。

[0048] APF中,变流器作为一个产生所需基波和谐波的交流源,控制产生的基波的大小和相位。根据电压和负载电流的变化,产生超前的容性无功电流或滞后的感性无功电流。

[0049] 正常情况下三相电流平衡,不需要进行补偿。当发生负载不平衡等问题时,某相的负载电流会发生突变,导致整体的三相电流不平衡,通过电流互感器的监测,利用虚拟锁相环模块,根据上述原理获得相乘后的波形。用LC低通滤波器过滤高频谐波,获得需要补偿的电流大小及其相位。由PWM控制器根据需要调整输入无功补偿电流的相位,并导入三相三绕组变压器 T_1 的一次侧,对三相负载电流突变进行快速补充,有效地对负载电流的畸变进行补偿,提高电网端和负载端的电能质量。除此之外,电流补偿器也可在正常情况下对电路的功率因数进行修正,提高整个系统的效率,提升电能利用率。

[0050] 除此之外,电流补偿器APF还可以对电力系统的暂态稳定性改善以及对有功功率以及无功功率进行控制。电流补偿器APF整体结构还有其他优点:体积小,易获得,可以降低生产成本。

[0051] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

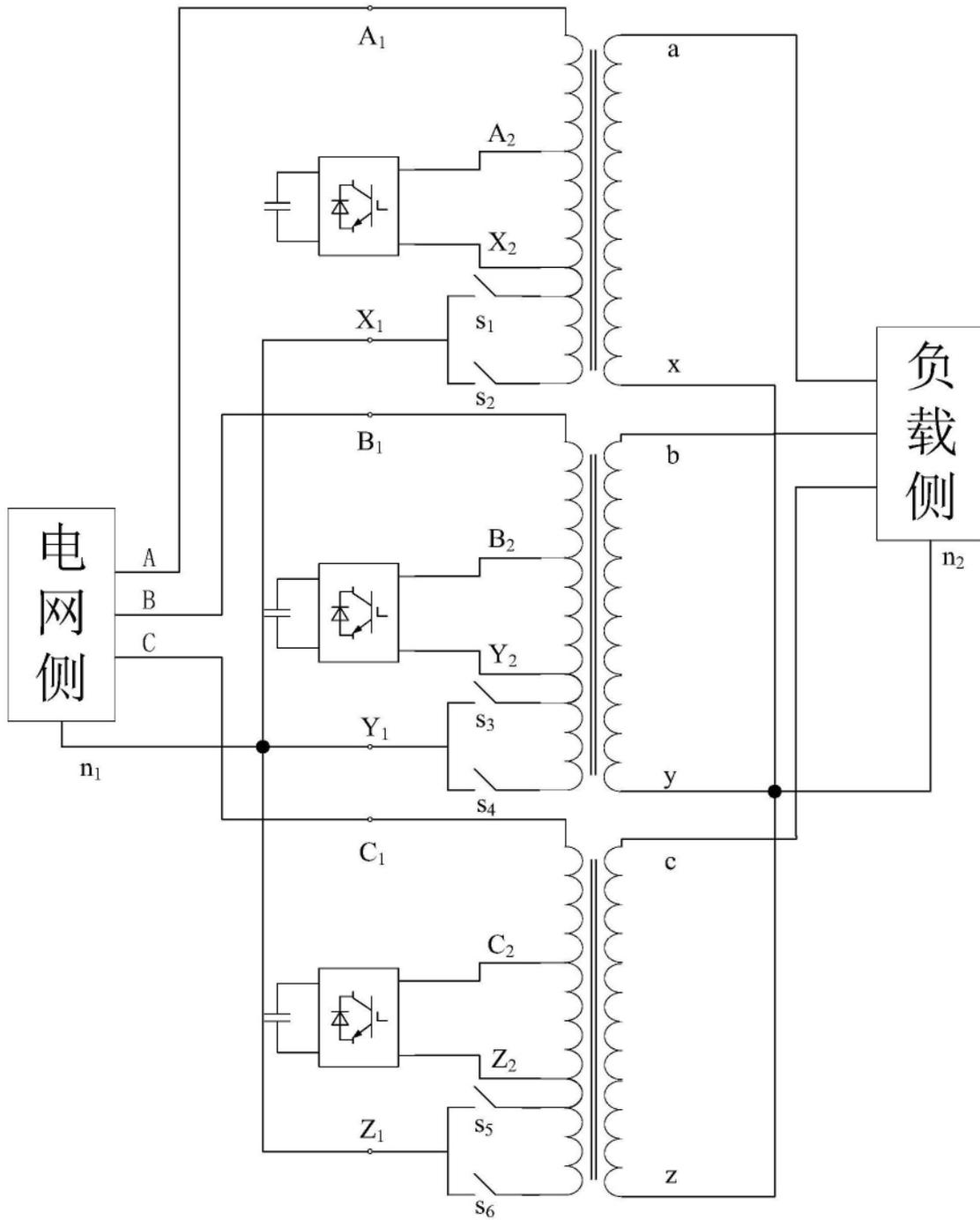


图1

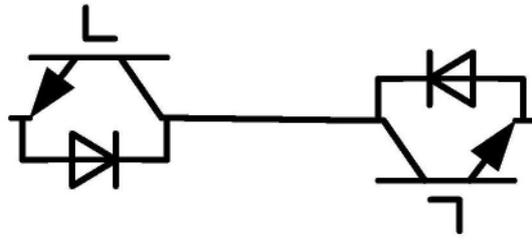


图2

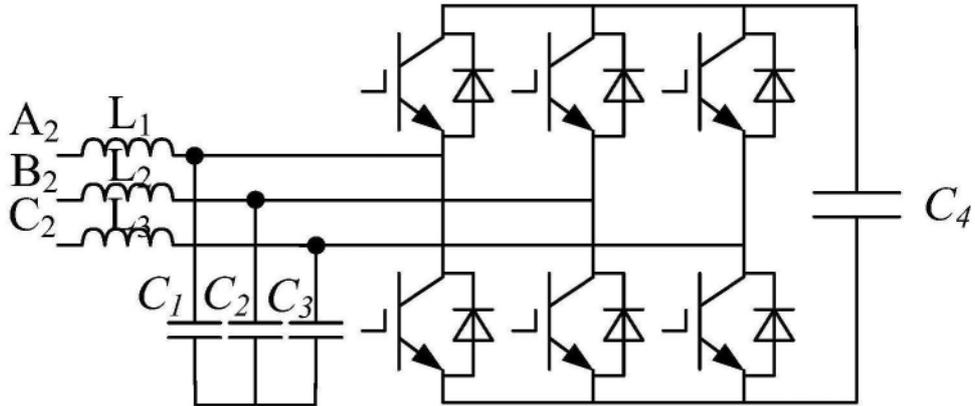


图3