

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102324737 A

(43) 申请公布日 2012. 01. 18

(21) 申请号 201110271015. 8

(22) 申请日 2011. 09. 14

(71) 申请人 广东电网公司电力科学研究院
地址 510080 广东省广州市越秀区东风东路
水均岗 8 号

(72) 发明人 孙闻 陈迅

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224
代理人 王茹 曾旻辉

(51) Int. Cl.
H02H 9/02 (2006. 01)

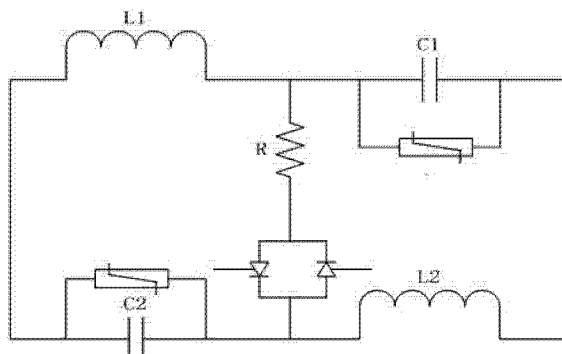
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

电力系统的短路限流器

(57) 摘要

本发明公开了电力系统的短路限流器,包括第一 L-C 支路、第二 L-C 支路和桥接支路,其中所述第一 L-C 支路包括相互串联的第一电感和第一电容,所述第二 L-C 支路包括相互串联的第二电感和第二电容,所述桥接支路包括相互串联的桥电阻和晶闸管模块,其中:所述桥接支路的一端连接在所述第一电感与所述第一电容之间,所述桥接支路的另一端连接在所述第二电感与所述第二电容之间;在输电系统正常运行时,所述晶闸管模块不导通;所述输电系统短路故障时,所述晶闸管模块导通。采用本发明,可以在系统正常运行时,以低谐波、低能耗接入;在系统短路故障时,获得很好的限流效果。



1. 一种电力系统的短路限流器,包括第一 L-C 支路、第二 L-C 支路和桥接支路,其中所述第一 L-C 支路包括相互串联的第一电感和第一电容,所述第二 L-C 支路包括相互串联的第二电感和第二电容,所述桥接支路包括相互串联的桥电阻和晶闸管模块,其特征在于:

所述桥接支路的一端连接在所述第一电感与所述第一电容之间,所述桥接支路的另一端连接在所述第二电感与所述第二电容之间;

在输电系统正常运行时,所述晶闸管模块不导通;所述输电系统短路故障时,所述晶闸管模块导通。

2. 根据权利要求 1 所述的电力系统的短路限流器,其特征在于,所述晶闸管模块包括两个反并联晶闸管。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的电力系统的短路限流器,其特征在于,所述第一 L-C 支路还包括:

并联在所述第一电容的两端的 MOV。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的电力系统的短路限流器,其特征在于,所述第二 L-C 支路还包括:

并联在所述第二电容的两端的 MOV。

5. 根据权利要求 4 所述的电力系统的短路限流器,其特征在于,所述第一 L-C 支路还包括:

并联在所述第一电容的两端的 MOV。

电力系统的短路限流器

技术领域

[0001] 本发明涉及电力工程技术领域,尤其涉及电力系统的短路限流器。

背景技术

[0002] 随着电力系统和现代化工业的发展,大电网互联和跨国互联日益发展,单机容量不断增大,低阻抗大容量变压器在现代化低压配电系统中的应用不断增长以及配电网的不断增长,使电力系统的短路容量有日益增加的趋势,系统中短路限流成为一个迫切的问题。

[0003] 目前较为常见的短路限流器多采用多个固态开关(通常为晶闸管)控制多个相关电感元件在短路前后的运行与退出,并通过适当的能量传递来分担系统的短路电流。系统在正常运行时晶闸管桥臂全部导通,由于固态开关存在导通压降,会导致线路电流峰值点附近发生接近 5% 的畸变。对于对电能质量要求不高的场合,可通过正确选择固态开关和直流电感参数来减小负载电流的畸变;但对于对电能质量要求较高的场合,为了彻底消除负载电流的畸变,需要通过适当的充磁回路来消除短路限流器产生的谐波,使用场合受到一定约束,投资成本相对较高。

发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提供了电力系统的短路限流器,能够在系统正常运行时,以低谐波、低能耗接入;在系统短路故障时,获得很好的限流效果。

[0005] 本发明提供了电力系统的短路限流器,包括第一 L-C 支路、第二 L-C 支路和桥接支路,其中所述第一 L-C 支路包括相互串联的第一电感和第一电容,所述第二 L-C 支路包括相互串联的第二电感和第二电容,所述桥接支路包括相互串联的桥电阻和晶闸管模块,其中:

所述桥接支路的一端连接在所述第一电感与所述第一电容之间,所述桥接支路的另一端连接在所述第二电感与所述第二电容之间;

在输电系统正常运行时,所述晶闸管模块不导通;所述输电系统短路故障时,所述晶闸管模块导通。

[0006] 进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述晶闸管模块包括两个反并联晶闸管。

[0007] 进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述第一 L-C 支路还包括:并联在所述第一电容的两端的 MOV。

[0008] 进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述第二 L-C 支路还包括:并联在所述第二电容的两端的 MOV。

[0009] 进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述第一 L-C 支路还包括并联在所述第一电容的两端的 MOV,并且所述第二 L-C 支路还包括并联在所述第二电容的两端的 MOV。

[0010] 实施本发明,具有如下有益效果:

本发明能够通过低成本的无源器件,实现在系统正常运行时,以低谐波、低能耗接入,从而不影响输电系统的电气性能;在系统短路故障时,改变限流器接入系统的电气拓扑,呈现电感元件与电容元件以工频并联谐振的形式接入系统,从而获得很好的限流效果。

附图说明

[0011] 图 1 是本发明电力系统的短路限流器的示意图;

图 2 是本发明电力系统的短路限流器的第一实施例示意图;

图 3 是本发明测试系统在加装限流器之前电流暂态图;

图 4 是本发明测试系统在加装限流器之前电流稳态图;

图 5 是本发明测试系统在加装限流器之前三相电流均方根值随时间变化的曲线图。

具体实施方式

[0012] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步地详细描述。

[0013] 图 1 是本发明电力系统的短路限流器的示意图,包括第一 L-C 支路、第二 L-C 支路和桥接支路,其中所述第一 L-C 支路包括相互串联的第一电感和第一电容,所述第二 L-C 支路包括相互串联的第二电感和第二电容,所述桥接支路包括相互串联的桥电阻和晶闸管模块,其特征在于:

所述桥接支路的一端连接在所述第一电感与所述第一电容之间,所述桥接支路的另一端连接在所述第二电感与所述第二电容之间;

在输电系统正常运行时,所述晶闸管模块不导通;所述输电系统短路故障时,所述晶闸管模块导通。

[0014] 本发明限流器的主体由无源电感、电容元件组成,电感元件附带的电阻也一同考虑在内。在正常运行时,限流器的电感、电容元件构成工频串联谐振电路串接在输电系统中,其对外呈现低阻抗,几乎不影响系统正常运行时的电气量;当短路检测单元检测到线路发生短路故障时,限流器通过导通晶闸管变换限流器的内部拓扑结构,使电感、电容元件形成工频并联谐振电路的结构,对外呈现高阻抗串接在输电系统中,从而有效抑制输电系统中的短路电流,减少电力设备发生过流损坏的风险。关于电路检测单元,目前的电力系统中诸如电流互感器等设备都可以随时检测到系统各处的电流值,若超过阈值则触发晶闸管导通,与三段保护中断路器的工作原理类似,目前在电力系统中已广泛应用。而在仿真系统当中,可通过比较器来实现这个功能。

[0015] 鉴于传统短路限流器在正常运行时存在非线性电力电子器件处于导通状态、会产生谐波损耗,以及使用多个晶闸管控制电路拓扑的变化会增加限流器投资等问题,本发明打破传统限流器的工作思路,利用谐振的方法控制系统中的电流,且系统正常运行时几乎不引入谐波,除了一个晶闸管模块之外,限流器仅由无源电感、电容元件组成,造价较低,可节省限流器的投资和安装成本。

[0016] 图 2 是本发明电力系统的短路限流器的第一实施例示意图。与图 1 相比,图 2 是本发明优选的第一实施例示意图。

[0017] 如图 2 所示,进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述晶闸管模块包括两个反并联晶闸管。

[0018] 反并联晶闸管可以通过单相晶闸管或双向晶闸管来实现。每个单相晶闸管只导通交流的正半周或负半周,一个周期的导通有两个单相晶闸管交替完成。两个单相晶闸管反并联相当于一个双向晶闸管,用于较大电流的电路。

[0019] 在反并联晶闸管的控制线路中,通常触发反并联晶闸管的方法是设置两套触发线路,正向晶闸管一套,反向晶闸管一套,此种触发方式比较繁琐,尤其是采用单片机控制的触发线路,占用 I/O 口资源较大,而双向晶闸管则克服了反并联晶闸管触发线路的弱点,不论是正向或反向均用同一套触发线路,大大简化了触发线路。本发明中,优选地,采取双向晶闸管来实现上述功能。

[0020] 进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述第一 L-C 支路还包括:并联在所述第一电容的两端的 MOV。

[0021] 进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述第二 L-C 支路还包括:并联在所述第二电容的两端的 MOV。

[0022] 进一步的,本发明的电力系统的短路限流器,所述第一 L-C 支路还包括并联在所述第一电容的两端的 MOV,并且所述第二 L-C 支路还包括并联在所述第二电容的两端的 MOV。

[0023] 由于谐振状态下电容元件对电压较敏感,容易导致电容过电压发生。为了防止限流器电容元件上的短路暂态电压值过高而影响电容元件的正常工作,本发明实施例中,优选地,在电容元件的两端并联 MOV (金属氧化物可变电阻器)以降低并联谐振时电容元件的暂态冲击电压水平。MOV 及其具体性能参数可根据具体要求选择装与不装,并选择合适的参数。

[0024] MOV (metal-oxide-varistor,金属氧化物压敏电阻)是由氧化锌或氧化铋等金属氧化物烧结而成的多晶半导体陶瓷元件,具有理想的阀特性。在工频电压下它呈现极大的电阻,能迅速有效的抑制工频续流,因此无需火花间隙来熄灭由工频续流引起的电弧;而在过电压下,其电阻又变的很小,能很好的泄放雷电流。在所述第一电容和/或所述第二电容的两端并联 MOV,能起到保护电容的作用,优选地,如图 2 所述,本发明实施例当中,第一电容和第二电容两端都并联了 MOV,对上述电容加以保护。

[0025] 下面将结合附图和测试系统详细描述本发明的具体实施方式,但本发明不受所述具体实例所限。本例采用单机向无穷大系统送电的输电系统为测试系统,其中,电源容量为 $3 \times 800\text{MVA}$,双回 500kV 架空线路,每段长度均为 100km,线路参数为广东电网花都开关站 500kV 花博甲乙线实测值。

[0026] 甲线:正序电抗值为 $0.2651 \Omega/\text{km}$,正序电阻值为 $0.0223 \Omega/\text{km}$,正序电容值为 $0.0143\mu\text{F}/\text{km}$;零序电抗值为 $1.004 \Omega/\text{km}$,零序电阻值为 $0.2494 \Omega/\text{km}$,零序电容值为 $0.0085\mu\text{F}/\text{km}$ 。

[0027] 乙线:正序电抗值为 $0.2646 \Omega/\text{km}$,正序电阻值为 $0.0225 \Omega/\text{km}$,正序电容值为 $0.0142\mu\text{F}/\text{km}$;零序电抗值为 $0.9797 \Omega/\text{km}$,零序电阻值为 $0.2563 \Omega/\text{km}$,零序电容值为 $0.0085\mu\text{F}/\text{km}$ 。电源相对于无穷大系统母线的相位角为 18° 。

[0028] 假设故障发生在乙线始端,发生时刻为 0.9997s,此时 A 相电压正处于过零点的最

不利时刻。假设此时发生三相短路,故障处电流将急剧增大,测试系统在加装限流器之前,电流随时间变化曲线如图 3 所示,其中 A 相冲击电流最大,峰值约 120kA;暂态电流衰减过程大约在 $t=10\text{s}$ 时结束,如图 4 所示是本发明测试系统在加装限流器之前电流稳态图,此时稳态电流峰值在 60kA 左右。每个周期采样 64 点,得到的三相电流均方根值随时间变化的曲线如图 5 所示是本发明测试系统在加装限流器之前三相电流均方根值随时间变化的曲线图。此时,A 相电流均方根值短路后可达 73kA,如此大的短路有必要引入短路限流器加以限制。故此,采用本发明的限流器,在正常负载工作条件下,所述晶闸管模块是不导通的,限流器呈现两条串联 L-C 支路。理想工作状态下,该限流器的这两条支路在系统频率下分别产生串联谐振(即电感和电容参数应满足谐振约束: $\omega^2 \times L_1 \times C_1 = 1, \omega^2 \times L_2 \times C_2 = 1$),串入电网的阻抗为 0。不影响系统正常工作。

[0029] 当发生短路故障时,导通所述晶闸管模块,将桥电阻 R 插入到两条平行谐振的 L-C 支路中间(即 $\omega^2 \times L_1 \times C_2 = 1, \omega^2 \times L_2 \times C_1 = 1$;由此可得 $C_1 = C_2, L_1 = L_2$)。此时,可通过节点电压法来得到故障状态下限流器接入电网的等值阻抗:

设电感和电抗的电纳值为 B,桥电阻的电导值为 G,第一电感的左侧电压为 \dot{U}_1 ,桥接支路上上下两端电压分别为 \dot{U}_2 和 \dot{U}_3 ,第一电容的右侧为等值接地点,流入限流器的电流为 \dot{I} ,于是有

$$\begin{cases} \dot{U}_1(jB - jB) - \dot{U}_2(-jB) - \dot{U}_3(jB) = \dot{I} \\ -\dot{U}_1(-jB) + \dot{U}_2(jB + G) - \dot{U}_3 G = 0 \\ -\dot{U}_1(jB) - \dot{U}_2 G + \dot{U}_3(jB - jB + G) = 0 \end{cases}$$

由以上方程组可得故障状态下限流器等值接入阻抗 $Z = \dot{U}_1 / \dot{I} = G / B^2 = X^2 / R$

即在发生短路故障后,限流器接入电网的阻抗为 $Z = X^2 / R$,其中 X 为系统频率下的感抗(容抗)值。该限流阻抗为纯电阻特性,所以不影响故障电流和电源之间的相位关系。

[0030] 由该限流阻抗的表达式 $Z = X^2 / R$ 可知,增大限流器电感 L (同时减小电容 C) 或者减小限流器电阻 R,都可以提高限流器在系统短路状态下的等值阻抗 Z 的值,降低故障电流的稳态值,有效限制短路电流。不过发生短路故障时,威胁最大的往往不是限流后的故障电流稳态值,而是短路故障发生后第一个周期内的短路电流有效值,以下便通过详细的电磁暂态仿真来进行研究。

[0031] 假设选取 $L=250\text{mH}$ 、 $R=50 \Omega$ (电容 C 的值可由电感 L 根据谐振条件唯一确定)。通

过 PSCAD 软件仿真得到这种情况下加装本限流器后的电气量的故障状态下最大有效值和系统正常运行时稳态电气量有效值,分别如表 1 和表 2 所示:

表 1 加装限流器后短路故障下电气量最大有效值表

	线路电流 $I_{rms. max}(kA)$	晶闸管电流 $I_{T. rms. max}(kA)$	电容器电压 $U_{C. rms. max}(kV)$
a 相	3.03	3.98	181
b 相	3.24	3.95	170
c 相	2.54	3.67	171
三相最大值	3.24	3.98	181

表 2 加装限流器后正常运行时各电气量稳态有效值表

	线路电流 $I_{rms}(kA)$	晶闸管电流 $I_{T. rms}(kA)$	电容器电压 $U_{C. rms}(kV)$
a 相	1.37	0	55
b 相	1.37	0	55
c 相	1.37	0	55
三相最大值	1.37	0	55

从表 1 和表 2 的结果可看出,正常运行时,线路上的电流水平与未加本限流器时基本一致,晶闸管不导通,无电流通过,可见本限流器几乎不影响系统正常运行时的各电气量。线路发生短路故障后,晶闸管迅速导通,电感电容元件转为近似工频并联谐振状态,抑制系统的短路电流,短路电流值由未加限流器时的几十 kA 变为加装本限流器后的 3kA 左右,限流效果非常明显。此时电容元件上的电压略高,如果不能满足实际使用的电容的耐压要求,且不适合更多电容串联分压时。

[0032] 为了进一步提高本发明限流器的限流效果,优选地,在电容元件的两端加装 MOV 限制过电压水平。MOV 本质上是非线性电阻元件,在两端电压较低时呈现高阻性,流过电流一般不超过 1mA;当电压超过一定值时,等值电阻急剧减小,其通过的电流将急剧增大以释放过电压能量,减小与其并联的电气设备的电压,使被保护设备减小过压损坏的可能性。

[0033] 加装 MOV 后,短路时各电气量最大值如表 3 所示:

表 3 加装 MOV 前后断路故障下各电气量最大值表

	线路电流		晶闸管电流		电容器电压		MOV 电流 Im. rms. max (kA)
	I _{rms. max} (kA)		I _{T. rms. max} (kA)		U _{C. rms. max} (kV)		
	前	后	前	后	前	后	
a相	3.03	4.16	3.98	3.69	181	82.49	4.16
b相	3.24	3.56	3.95	3.64	170	82.07	3.56
c相	2.54	3.58	3.67	3.59	171	82.31	3.58
三相最大值	3.24	4.16	3.98	3.69	181	82.49	4.16

可见这种情况下,加装 MOV 可使电容过电压水平得到很好的控制,晶闸管上通过的电流也得到了很好的优化,但短路电流水平略有提高,相对于未加限流器时的几十 kA 相比,该限流水平已经足以满足要求,基本不会额外增加投资。

[0034] 综上所述,本发明是具有较高的限流效果、不影响系统正常运行时的电气性能、低谐波注入、低能耗、造价较低的短路限流器。

[0035] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到本发明可借助软件加必需的硬件平台的方式来实现,当然也可以全部通过硬件来实施。基于这样的理解,本发明的技术方案对背景技术做出贡献的全部或者部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在存储介质中,如 ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0036] 以上所述的本发明实施方式,并不构成对本发明保护范围的限定。任何在本发明的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的权利要求保护范围之内。

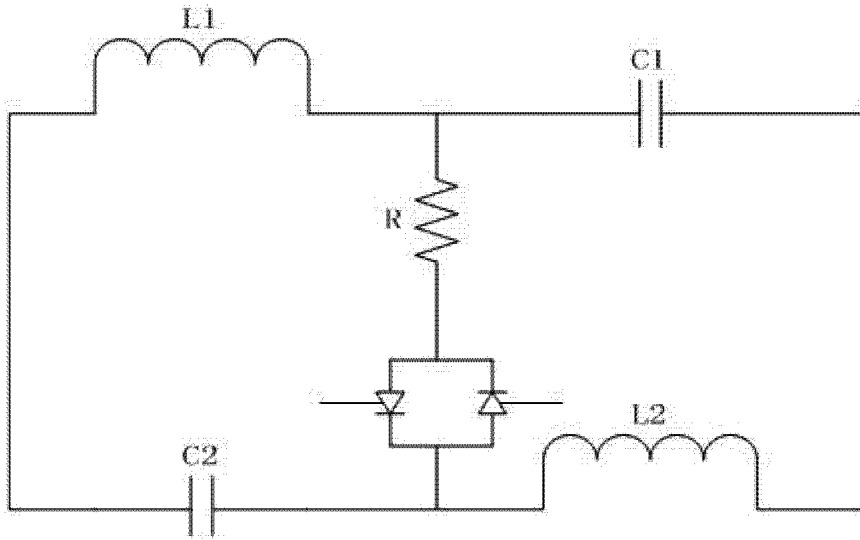


图 1

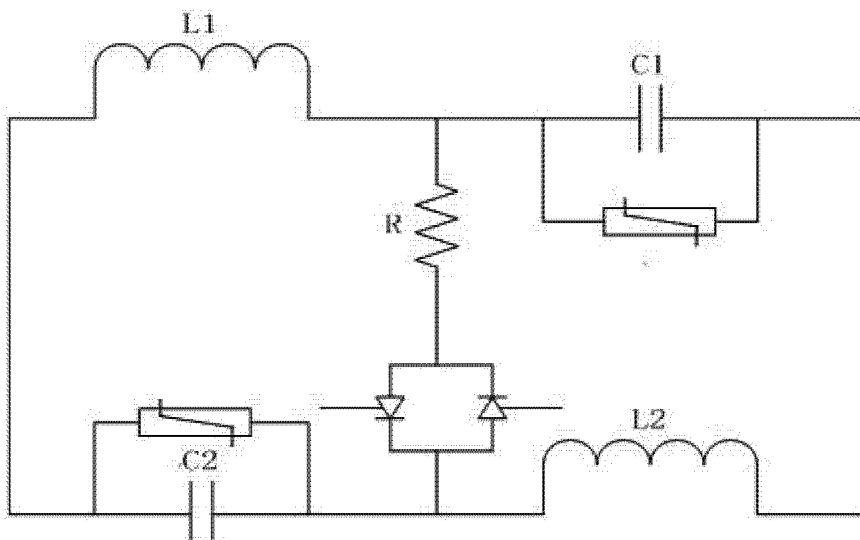


图 2

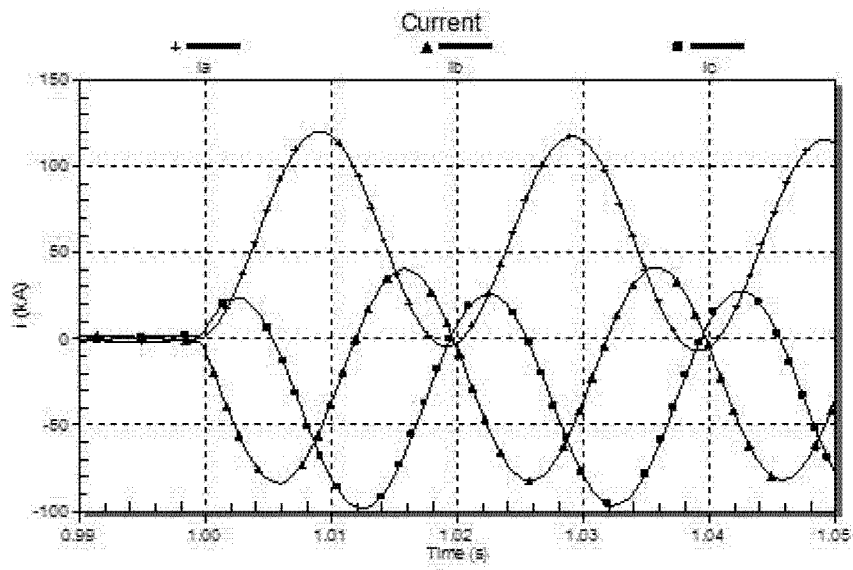


图 3

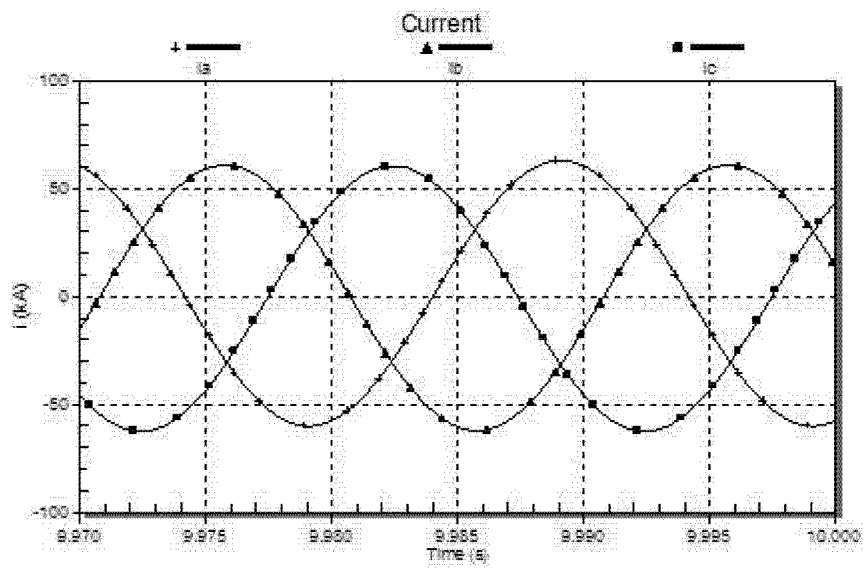


图 4

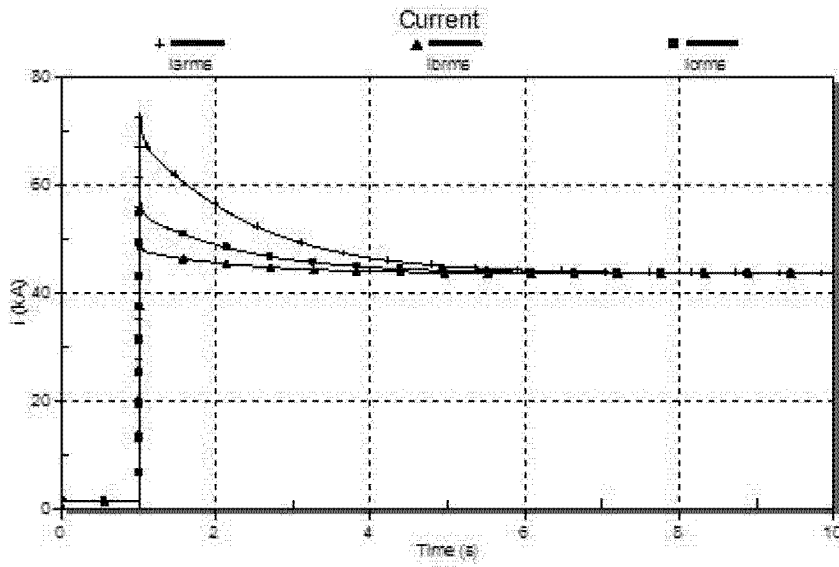


图 5