

1. 一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:包括:锁相环、dq0变换、并网熔断机制、多模式运行控制、直流母线电压控制、直流母线电压均压控制、交流电网电流参考生成、交流电网电流控制和SPWM调制;所使用的串并联型电能路由器包括串联变换器、并联变换器、变压器、交流母线、直流母线、交流电网接口、储能装置接口、新能源发电接口、多个交流负荷接口及多个直流负荷接口。

2. 根据权利要求1所述的一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:所述并网熔断机制的控制过程包括:直流母线总体电压实测值 u_{dc} 与最小直流母线总体电压设定值 u_{dcmin} 比较后得到差值 u_e ,利用所述差值 u_e 判断熔断系数 x 和 y 的取值;其中,在并网模式下熔断系数 x 、 y 与 u_e 的关系为:

$$\begin{cases} x=1, y=0 & u_e > 0 \\ x=0, y=1 & u_e \leq 0 \end{cases}$$

当 $u_e > 0$ 时,则 $u_{dc} > u_{dcmin}$,所述直流母线有能力运行在并网模式,所述两熔断系数分别为 $x=1$ 和 $y=0$;当 $u_e \leq 0$ 时,则 $u_{dc} \leq u_{dcmin}$,所述直流母线无法支撑并网模式,所述两熔断系数分别为 $x=0$ 和 $y=1$,使得所述电能路由器退出并网模式;

在其他三种模式下,设置所述两熔断系数分别为 $x=0$ 和 $y=1$,使所述并网模式处于封锁状态。

3. 根据权利要求1所述的一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:所述多模式运行控制的控制过程包括:交流电网电压 u_{sd} 、交流母线电压 u_{ld} 和交流母线电流 i_{ld} 经低通滤波器后,提取出相应的基波正序分量 u_{sd}^+ 、 u_{ld}^+ 和 i_{ld}^+ ,之后再结合并联变换器额定电流 i_{parR} 得到多模式运行控制输出电流 i_{sdm} 为:

$$i_{sdm} = k_m u_{ld}^+ (i_{ld}^+ - x k_g i_{parR}) / u_{sd}^+$$

其中, k_g 为并网运行系数,是决定所述电能路由器运行于并网模式的第二个条件; k_m 为多模式运行系数;

通过控制 k_m 和 k_g ,使所述电能路由器运行于电网模式、协同模式、孤岛模式和并网模式,实现在四种模式之间的无缝切换,包括以下步骤:(1)电网模式: $k_m=1, k_g=0, x=0$;(2)协同模式: $0 < k_m < 1, k_g=0, x=0$;(3)孤岛模式: $k_m=0, k_g=0$ 或 $1, x=0$;(4)并网模式: $0 < k_m < 1, k_g=1, x=1$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:所述直流母线电压控制的控制过程包括:计算直流母线电压参考值 u_{dcref} 与直流母线电压实测值 u_{dc} 的差值 $u_{dce} = u_{dcref} - u_{dc}$,再与所述熔断系数 y 相乘后得到量值 $y u_{dce}$,经PI控制器 PI_{dc} 调节后得到直流母线电压控制输出电流 i_{dcref} ;当所述电能路由器运行在并网模式时,设置 $y=0$ 从而进一步控制 $i_{dcref}=0$,则切除直流母线电压控制;而运行于其他三种模式时,设置 $y=1$,则加入直流母线电压控制。

5. 根据权利要求1所述的一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:所述直流母线电压均压控制的控制过程包括:正、负直流母线电压实测值之间的差值经PI控制器 PI_{dcbal} 调节后得到 u_{dcbal} 。

6. 根据权利要求1所述的一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:所述交流电网电流参考生成的控制过程为:所述多模式运行控制输出电流 i_{sdm} 与所

述直流母线电压控制输出电流 i_{dcref} 相加后,得到交流电网电流参考 i_{Sdref} 。

7. 根据权利要求1所述的一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:所述交流电网电流控制的控制过程包括:所述交流电网电流参考 i_{Sdref} 与变压器变比 n 相乘后,得到d轴电流参考 i_{serd}^* ,q轴和0轴电流参考 i_{serq}^* 和 i_{ser0}^* 均设置为零;计算所述电流参考 i_{serd}^* 、 i_{serq}^* 和 i_{ser0}^* 分别与串联变换器输出电流实测值 i_{serd} 、 i_{serq} 和 i_{ser0} 的差值,该差值经过PI控制器 PI_{ser} 后,再与电流dq解耦输出和变压器两端电压叠加形成dq0坐标系下的调制信号 u_{serd} 、 u_{serq} 和 u_{ser0} ;所述调制信号 u_{serd} 、 u_{serq} 和 u_{ser0} 经dq0反变换后再与所述直流母线电压均压控制输出 u_{dcbal} 叠加,得到abc坐标系下的调制信号 u_{sera}^* 、 u_{serb}^* 和 u_{serc}^* 。

8. 根据权利要求1所述的一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,其特征在于:所述锁相环包括:通过dq0变换将abc坐标系下的三相交流量变换为dq0坐标系下的直流量;通过SPWM调制将abc坐标系下的调制信号生成所述串联变换器中开关管的驱动信号。

一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子设备技术领域,尤其是一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法。

背景技术

[0002] 随着新能源渗透率的不断加剧以及储能装置与交直流负荷的大规模接入,电力系统的电网结构、形态功能与负荷构成正在发生深刻变化,其呈现出的“网—源—储—荷”多元耦合与复杂结构特征,对电力系统稳定运行、不同形式能量转换与分配、电能质量问题等均提出了新的要求。针对上述特征,电能路由器(Electric Energy Router, EER)作为一种含有多种形式电气接口与能量转换作用的电力电子设备,可实现新能源、储能装置与电力系统的有效融合、多种不同形式能量之间的高效转换、以及对交直流负荷的高质量供电。

[0003] 面向低压配电网的EER一般采用两级变换方案,即AC/DC+DC/AC变换器,根据两级变换器的连接形式,可具体分为串联型EER和串并联型EER。相比于串联型EER,串并联型EER可同时实现有功和无功功率的柔性运行,且其所具有的双通道供能方式,能够使该EER以大于系统本身额定容量的条件转换和传输能量,因此串并联型EER具有大功率能量传输的优势,如发明专利CN202011322000。在多种能源互动作用下,串并联型EER存在多种运行模式,具体分为,电网模式:交流电网为负荷提供全部能量;协同模式:交流电网与新能源或/和储能装置协同为负荷提供能量;孤岛模式:新能源或/和储能装置为负荷提供全部能量;并网模式:在优先保障负荷用电的前提下,将新能源或/和储能装置中多余能量馈送至电网。

[0004] 然而,针对上述低压配电网EER的多种运行模式,如何实现对多种模式的统一控制,且完成不同模式之间的无缝切换,是目前低压配电网EER现有控制技术没有涉及的一个技术难点。进一步,由于拓扑形式不同,现有技术中的控制方法并不适用于对串并联型EER进行多模式控制,如发明专利CN201910348552、CN202011332313是面向中压配电网,且针对三级或多级变换方案的控制方法。

发明内容

[0005] 本发明需要解决的技术问题是提供一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,使所述电能路由器运行于电网模式、协同模式、孤岛模式和并网模式,并实现在四种模式之间的无缝切换;通过控制熔断系数,克服并网模式下直流母线电压下降对所述电能路由器的稳定性影响。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明所采用的技术方案是:

[0007] 一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法,包括:锁相环、dq0变换、并网熔断机制、多模式运行控制、直流母线电压控制、直流母线电压均压控制、交流电网电流参考生成、交流电网电流控制和SPWM调制;所使用的串并联型电能路由器包括串联变换器、并联变换器、变压器、交流母线、直流母线、交流电网接口、储能装置接口、新能源发电接口、多个交流负荷接口及多个直流负荷接口。

[0008] 本发明技术方案的进一步改进在于:所述并网熔断机制的控制过程包括:直流母线总体电压实测值 u_{dc} 与最小直流母线总体电压设定值 u_{dcmin} 比较后得到差值 u_e ,利用所述差值 u_e 判断熔断系数 x 和 y 的取值;其中,在并网模式下熔断系数 x 、 y 与 u_e 的关系为:

$$[0009] \quad \begin{cases} x=1, y=0 & u_e > 0 \\ x=0, y=1 & u_e \leq 0 \end{cases}$$

[0010] 当 $u_e > 0$ 时,则 $u_{dc} > u_{dcmin}$,所述直流母线有能力运行在并网模式,所述两熔断系数分别为 $x=1$ 和 $y=0$;当 $u_e \leq 0$ 时,则 $u_{dc} \leq u_{dcmin}$,所述直流母线无法支撑并网模式,所述两熔断系数分别为 $x=0$ 和 $y=1$,使得所述电能路由器退出并网模式;

[0011] 在其他三种模式下,设置所述两熔断系数分别为 $x=0$ 和 $y=1$,使所述并网模式处于封锁状态。

[0012] 本发明技术方案的进一步改进在于:所述多模式运行控制的控制过程包括:交流电网电压 u_{Sd} 、交流母线电压 u_{Ld} 和交流母线电流 i_{Ld} 经低通滤波器后,提取出相应的基波正序分量 u_{Sd}^+ 、 u_{Ld}^+ 和 i_{Ld}^+ ,之后再结合并联变换器额定电流 i_{parR} 得到多模式运行控制输出电流 i_{Sdm} 为:

$$[0013] \quad i_{Sdm} = k_m u_{Ld}^+ (i_{Ld}^+ - x k_g i_{parR}) / u_{Sd}^+$$

[0014] 其中, k_g 为并网运行系数,是决定所述电能路由器运行于并网模式的第二个条件; k_m 为多模式运行系数;

[0015] 通过控制 k_m 和 k_g ,使所述电能路由器运行于电网模式、协同模式、孤岛模式和并网模式,实现在四种模式之间的无缝切换,包括以下步骤:(1)电网模式: $k_m=1, k_g=0, x=0$;(2)协同模式: $0 < k_m < 1, k_g=0, x=0$;(3)孤岛模式: $k_m=0, k_g=0$ 或 $1, x=0$;(4)并网模式: $0 < k_m < 1, k_g=1, x=1$ 。

[0016] 本发明技术方案的进一步改进在于:所述直流母线电压控制的控制过程包括:计算直流母线电压参考值 u_{dcref} 与直流母线电压实测值 u_{dc} 的差值 $u_{dce} = u_{dcref} - u_{dc}$,再与所述熔断系数 y 相乘后得到量值 $y u_{dce}$,经PI控制器 PI_{dc} 调节后得到直流母线电压控制输出电流 i_{dcref} ;当所述电能路由器运行在并网模式时,设置 $y=0$ 从而进一步控制 $i_{dcref}=0$,则切除直流母线电压控制;而运行于其他三种模式时,设置 $y=1$,则加入直流母线电压控制。

[0017] 本发明技术方案的进一步改进在于:所述直流母线电压均压控制的控制过程包括:正、负直流母线电压实测值之间的差值经PI控制器 PI_{dcbal} 调节后得到 u_{dcbal} 。

[0018] 本发明技术方案的进一步改进在于:所述交流电网电流参考生成的控制过程为:所述多模式运行控制输出电流 i_{Sdm} 与所述直流母线电压控制输出电流 i_{dcref} 相加后,得到交流电网电流参考 i_{Sdref} 。

[0019] 本发明技术方案的进一步改进在于:所述交流电网电流控制的控制过程包括:所述交流电网电流参考 i_{Sdref} 与变压器变比 n 相乘后,得到d轴电流参考 i_{serd}^* ,q轴和0轴电流参考 i_{serq}^* 和 i_{ser0}^* 均设置为零;计算所述电流参考 i_{serd}^* 、 i_{serq}^* 和 i_{ser0}^* 分别与串联变换器输出电流实测值 i_{serd} 、 i_{serq} 和 i_{ser0} 的差值,该差值经过PI控制器 PI_{ser} 后,再与电流dq解耦输出和变压器两端电压叠加形成dq0坐标系下的调制信号 u_{serd} 、 u_{serq} 和 u_{ser0} ;所述调制信号 u_{serd} 、 u_{serq} 和 u_{ser0} 经dq0反变换后再与所述直流母线电压均压控制输出 u_{dcbal} 叠加,得到abc坐标系下的调制信

号 u_{sera}^* 、 u_{serb}^* 和 u_{serc}^* 。

[0020] 本发明技术方案的进一步改进在于：所述锁相环包括：通过dq0变换将abc坐标系下的三相交流量变换为dq0坐标系下的直流量；通过SPWM调制将abc坐标系下的调制信号生成所述串联变换器中开关管的驱动信号。

[0021] 由于采用了上述技术方案，本发明取得的技术进步是：

[0022] 本发明实现了对电网模式、协同模式、孤岛模式和并网模式的统一控制，且完成不同模式之间的无缝切换，满足串并联型EER的多种运行模式。

[0023] 本发明实现了对交流电网的削峰填谷、对新能源的及时消纳、对交直流负荷的不间断供电、新能源并网发电、电网掉电或故障时稳定运行，满足串并联型EER的多种应用场景。

[0024] 并网熔断机制便于克服并网模式下直流母线电压下降对所述电能路由器的稳定性影响；所述多模式运行控制便于控制所述电能路由器在多种模式中运行；所述直流母线电压控制用于稳定直流母线电压在一定期望值内；所述直流母线电压均压控制用于控制正、负直流母线电压平衡；所述交流电网电流参考生成用于生成交流电网电流参考；所述交流电网电流控制用于控制交流电网电流的幅值、频率和相位；所述锁相环用于跟踪交流电网电压的频率。

附图说明

[0025] 图1为面向低压配电网的串并联型EER拓扑结构原理图；

[0026] 图2为本发明基于串并联型EER的多模式统一控制整体设计图；

[0027] 图3为本发明并网熔断机制原理图；

[0028] 图4为本发明多模式运行控制原理图；

[0029] 图5为本发明直流母线电压控制原理图；

[0030] 图6为本发明直流母线电压均压控制原理图；

[0031] 图7为本发明交流电网电流参考生成原理图；

[0032] 图8为本发明交流电网电流控制原理图；

[0033] 图9为本发明串联变换器控制策略示意图；

[0034] 图10为本发明并联变换器控制策略示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合实施例对本发明做进一步详细说明：

[0036] 一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法，本发明提出的多模式统一控制是基于串并联型EER进行设计的，所述EER拓扑结构如图1所示，由串联变换器、并联变换器、变压器、交流母线、直流母线、交流电网接口、储能装置接口、新能源发电接口、交流负荷接口及直流负荷接口组成。其中，所述串联和并联变换器均为三相半桥式电力电子变换器，且采用背靠背连接形式，所述串联变换器通过所述变压器串联连接在所述交流电网接口处，而所述并联变换器并联连接在所述交流母线处。

[0037] 具体的， $S_1 \sim S_6$ 为所述串联变换器开关管； $L_{\text{sera},b,c}$ 为所述串联变换器三相滤波电感； $u_{1a,b,c}$ 为所述串联变换器三相桥臂电压； $i_{\text{sera},b,c}$ 为所述串联变换器三相输出电流； $S_7 \sim$

S_{12} 为所述并联变换器开关管; $L_{para,b,c}$ 和 $C_{para,b,c}$ 为所述并联变换器三相滤波器; $u_{2a,b,c}$ 为所述并联变换器三相桥臂电压; $i_{2a,b,c}$ 为所述并联变换器三相电感电流; $i_{para,b,c}$ 为所述并联变换器三相输出电流; $u_{Sa,b,c}$ 为交流电网三相电压; $i_{Sa,b,c}$ 为交流电网三相电流; N 为中性线; $u_{Ca,b,c}$ 为所述变压器一次侧三相电压; $u_{La,b,c}$ 为所述交流母线三相电压; $i_{La,b,c}$ 为所述交流母线三相电流; C_{dc+} 和 C_{dc-} 为所述直流母线正负电容; u_{dc+} 和 u_{dc-} 为所述直流母线正负电压。

[0038] 如图2所示,一种基于串并联型电能路由器的多模式统一控制方法包括:锁相环、dq0变换、并网熔断机制、多模式运行控制、直流母线电压控制、直流母线电压均压控制、交流电网电流参考生成、交流电网电流控制和SPWM调制。

[0039] 如图3所示,所述并网熔断机制是本发明的第一项重要改进,用于克服并网模式下直流母线电压下降对所述电能路由器的稳定性影响,其控制过程为:直流母线总体电压实测值 u_{dc} 与最小直流母线总体电压设定值 u_{dcmin} 比较后得到差值 u_e ,利用所述差值 u_e 判断熔断系数 x 和 y 的取值。具体的,在并网模式下熔断系数 x 、 y 与 u_e 的关系为:

$$[0040] \quad \begin{cases} x=1, y=0 & u_e > 0 \\ x=0, y=1 & u_e \leq 0 \end{cases}$$

[0041] 上述关系可表述为:当 $u_e > 0$ 时,则 $u_{dc} > u_{dcmin}$,所述直流母线有能力运行于并网模式,所述两熔断系数分别为 $x=1$ 和 $y=0$,这也是决定所述电能路由器运行于并网模式的第一个条件;当 $u_e \leq 0$ 时,则 $u_{dc} \leq u_{dcmin}$,所述直流母线无法支撑并网模式,所述两熔断系数分别为 $x=0$ 和 $y=1$,使得所述电能路由器退出并网模式。

[0042] 在其他三种模式下,设置所述两熔断系数分别为 $x=0$ 和 $y=1$,可使所述并网模式处于封锁状态。

[0043] 如图4所示,所述多模式运行控制是本发明的第二项重要改进,用于控制所述电能路由器在多种模式中运行,其控制过程为:交流电网电压 u_{Sd} 、交流母线电压 u_{Ld} 和交流母线电流 i_{Ld} 经低通滤波器后,提取出相应的基波正序分量 u_{Sd}^+ 、 u_{Ld}^+ 和 i_{Ld}^+ ,之后再结合并联变换器额定电流 i_{parR} 可得到多模式运行控制输出电流 i_{Sdm} 为:

$$[0044] \quad i_{Sdm} = k_m u_{Ld}^+ (i_{Ld}^+ - x k_g i_{parR}) / u_{Sd}^+$$

[0045] 其中, k_g 为并网运行系数,是决定所述电能路由器运行于并网模式的第二个条件; k_m 为多模式运行系数。

[0046] 通过控制 k_m 和 k_g ,可使所述电能路由器运行于电网模式、协同模式、孤岛模式和并网模式,并实现在四种模式之间的无缝切换,具体表述为:(1)电网模式: $k_m=1, k_g=0, x=0$;(2)协同模式: $0 < k_m < 1, k_g=0, x=0$;(3)孤岛模式: $k_m=0, k_g=0$ 或 $1, x=0$;(4)并网模式: $0 < k_m < 1, k_g=1, x=1$ 。

[0047] 如图5所示,所述直流母线电压控制用于稳定直流母线电压在一定期望值,其控制过程为:计算直流母线电压参考值 u_{dcref} 与直流母线电压实测值 u_{dc} 的差值 $u_{dce} = u_{dcref} - u_{dc}$,再与所述熔断系数 y 相乘后得到量值 $y u_{dce}$,经PI控制器 PI_{dc} 调节后得到直流母线电压控制输出电流 i_{dcref} 。当所述电能路由器运行于并网模式时,设置 $y=0$ 从而进一步控制 $i_{dcref}=0$,则切除直流母线电压控制;而运行于其他三种模式时,设置 $y=1$,则加入直流母线电压控制。

[0048] 如图6所示,所述直流母线电压均压控制用于控制正、负直流母线电压平衡,其控制过程为:正、负直流母线电压实测值 u_{dc+} 和 u_{dc-} 之间的差值经PI控制器 PI_{dcba1} 调节后得到

u_{dcbal} 。

[0049] 如图7所示,所述交流电网电流参考生成用于生成交流电网电流参考,其控制过程为:所述多模式运行控制输出电流 i_{sdm} 与所述直流母线电压控制输出电流 i_{dcref} 相加后,得到交流电网电流参考 i_{sdref} 。

[0050] 如图8所示,所述交流电网电流控制用于控制交流电网电流的幅值、频率和相位,其控制过程为:所述交流电网电流参考 i_{sdref} 与变压器变比 n 相乘后,得到d轴电流参考 i_{serd}^* ,q轴和0轴电流参考 i_{serq}^* 和 i_{ser0}^* 均设置为零;计算所述电流参考 i_{serd}^* 、 i_{serq}^* 和 i_{ser0}^* 分别与串联变换器输出电流实测值 i_{serd} 、 i_{serq} 和 i_{ser0} 的差值,该差值经过PI控制器 PI_{ser} 后,再与电流dq解耦输出和变压器两端电压叠加形成dq0坐标系下的调制信号 u_{serd} 、 u_{serq} 和 u_{ser0} ;所述调制信号 u_{serd} 、 u_{serq} 和 u_{ser0} 经dq0反变换后再与所述直流母线电压均压控制输出 u_{dcbal} 叠加,得到abc坐标系下的调制信号 u_{sera}^* 、 u_{serb}^* 和 u_{serc}^* 。

[0051] 如图9所示,结合所述图3~图8的控制原理图,形成所述串联变换器的控制策略,即所述多模式统一控制由所述串联变换器体现和执行。此外,所述串联变换器控制策略还包括:所述锁相环用于跟踪交流电网电压 $u_{Sa,b,c}$ 的频率,其输出量为 θ ;所述dq0变换用于将所述abc坐标系下的三相交流量变换为所述dq0坐标系下的直流量;所述SPWM调制用于将所述abc坐标系下的调制信号 $u_{sera,b,c}^*$ 生成所述串联变换器中开关管 $S_1 \sim S_6$ 对应的驱动信号 $D_1 \sim D_6$ 。

[0052] 如图10所示,所述并联变换器控制策略用于实现对交流母线电压 $u_{La,b,c}$ 的控制、保障所述EER对交流负荷的供电质量、以及协同所述串联变换器完成对多种运行模式的控制。所述并联变换器控制策略由交流母线电压外环控制、电感 $L_{para,b,c}$ 电流内环控制、dq0反变换和SPWM调制组成,其中交流母线电压参考分别设置为 $u_{Ldref} = 311$ 和 $u_{Lqref} = u_{L0ref} = 0$;电感电流参考 $i_{refd,q,0}$ 由所述交流母线电压外环的输出产生;所述电感电流内环的输出为dq0坐标系下的调制信号 $u_{pard,q,0}$;所述调制信号 $u_{pard,q,0}$ 经所述dq0反变换后得到abc坐标系下的调制信号 $u_{para,b,c}^*$;所述SPWM调制用于将所述调制信号 $u_{para,b,c}^*$ 生成所述并联变换器中开关管 $S_7 \sim S_{12}$ 对应的驱动信号 $D_7 \sim D_{12}$; PI_{parv} 和 PI_{pari} 分别为所述交流母线电压外环和电感电流内环的PI控制器。

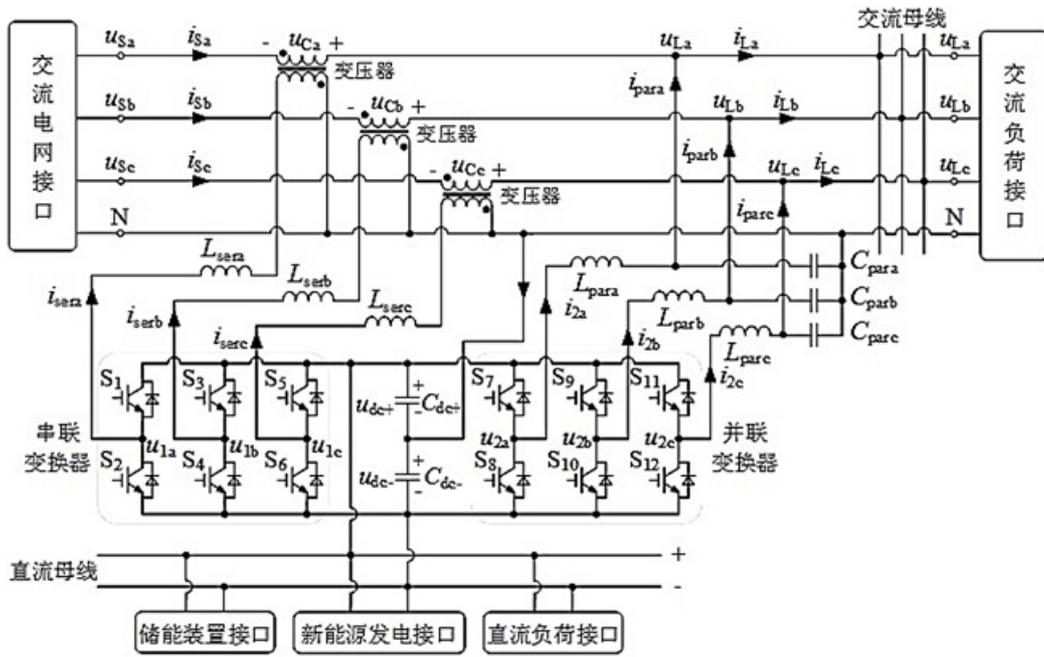


图1

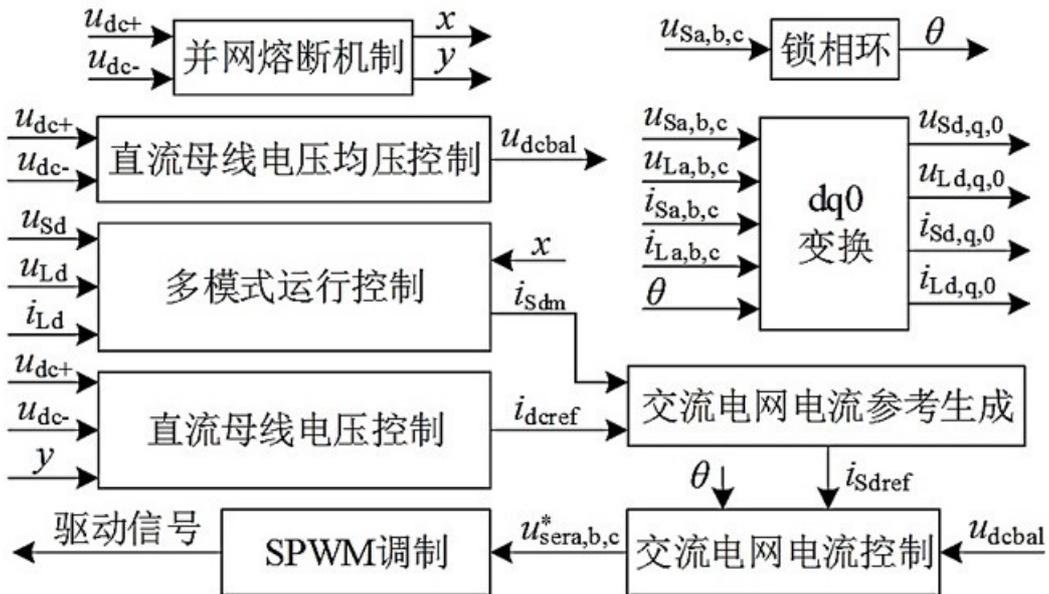


图2

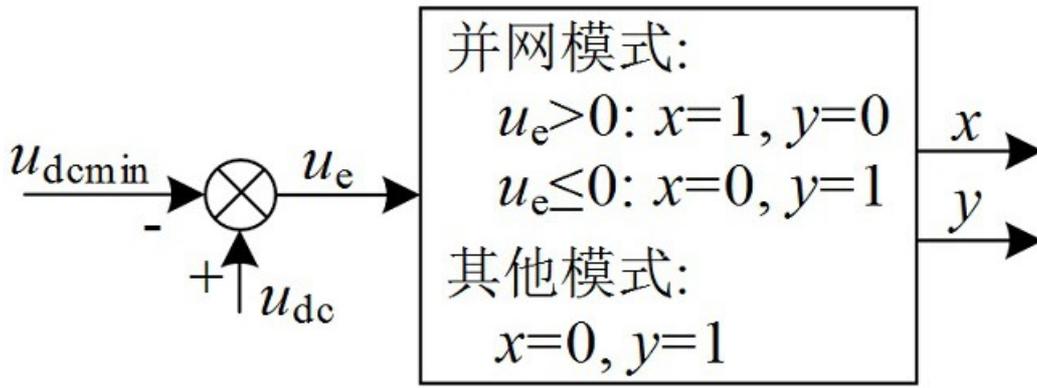


图3

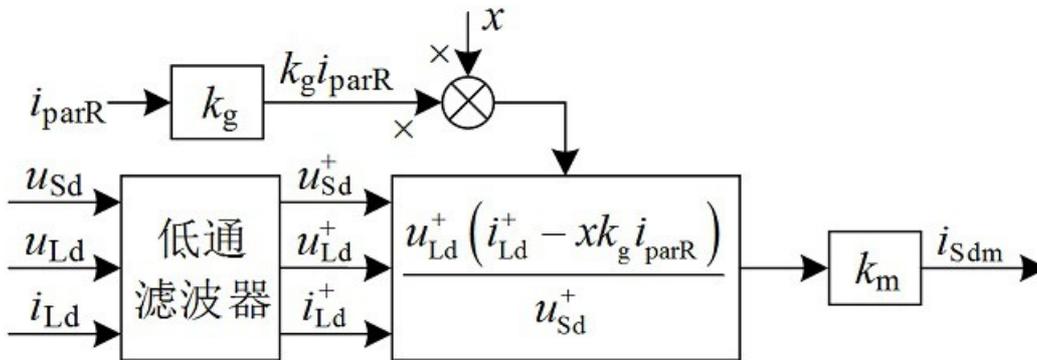


图4

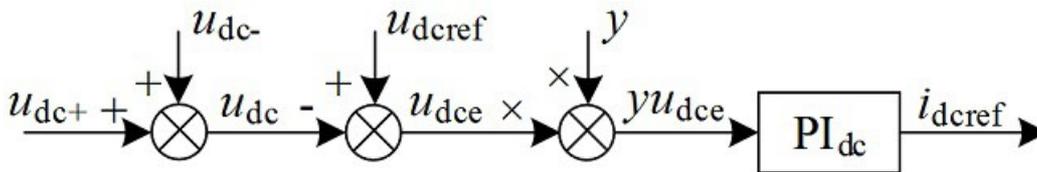


图5

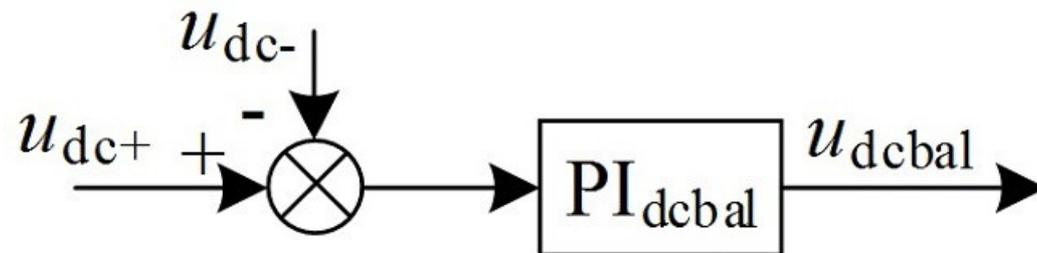


图6

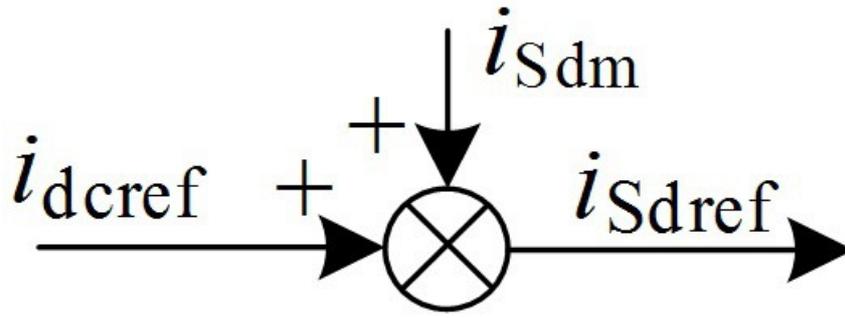


图7

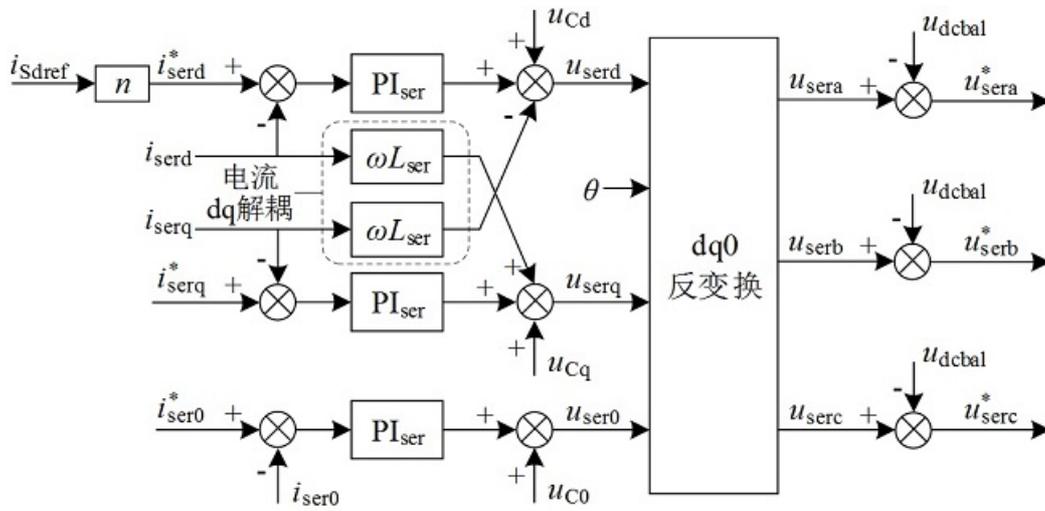


图8

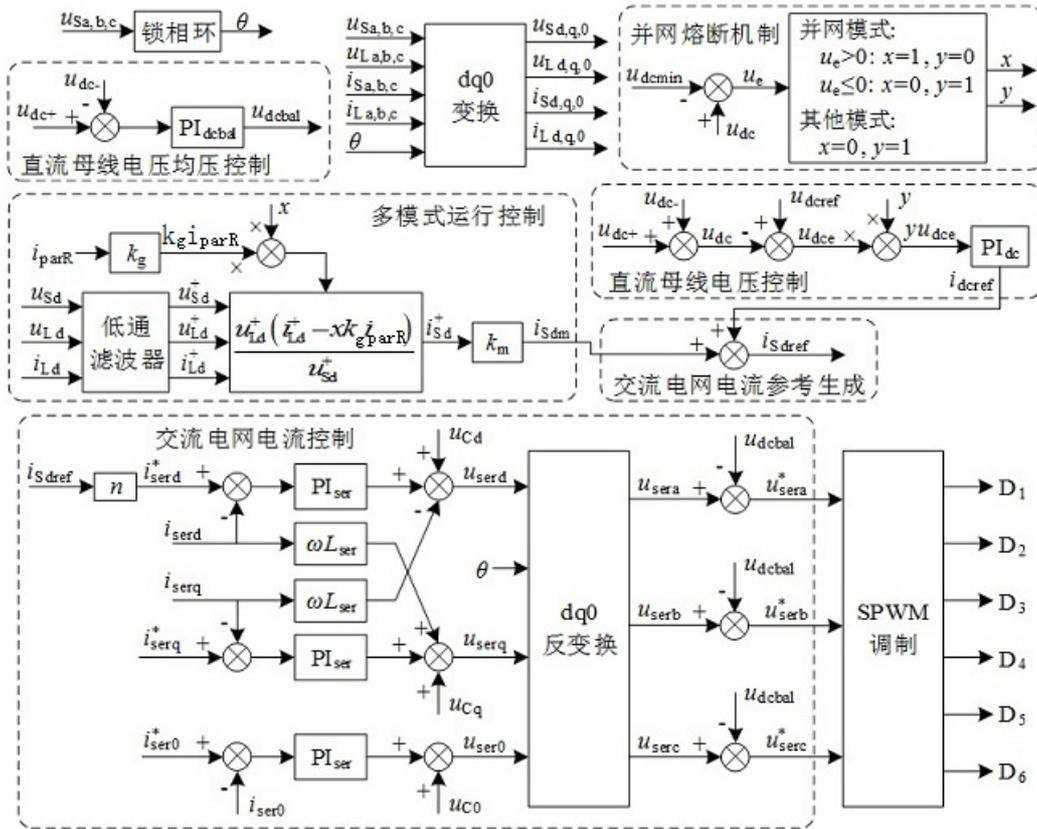


图9

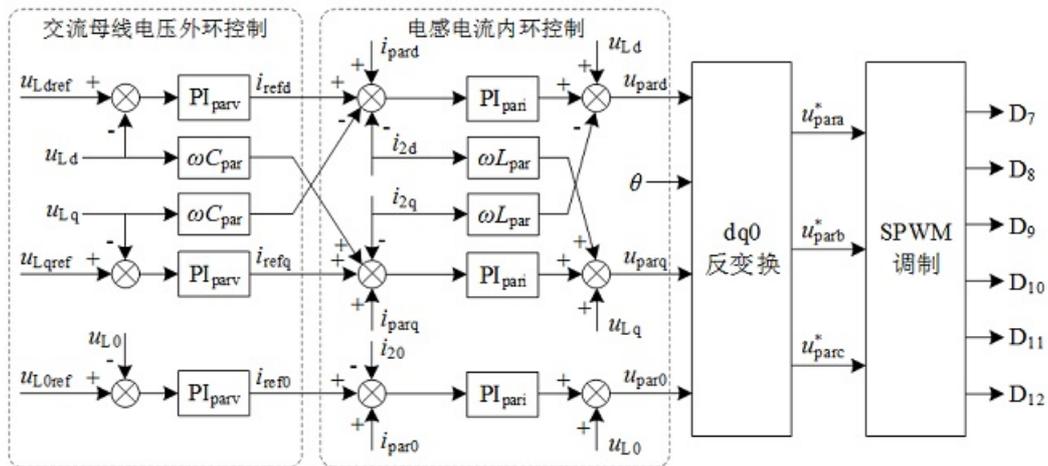


图10