



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101738578 B

(45) 授权公告日 2012. 12. 19

(21) 申请号 200910262379. 2

CN 1206467 A, 1999. 01. 27,

(22) 申请日 2009. 12. 24

CN 101322043 A, 2008. 12. 10,

(73) 专利权人 成都市华为赛门铁克科技有限公司

US 5887001 A, 1999. 03. 23,

US 2006012386 A1, 2006. 01. 19,

地址 611731 四川省成都市高新区西部园区清水河片区

审查员 孙毅

(72) 发明人 陆美全 邓晨辉 李玉森 王智仙

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

代理人 刘芳

(51) Int. Cl.

G01R 31/28 (2006. 01)

G01R 27/02 (2006. 01)

G01R 19/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101281231 A, 2008. 10. 08,

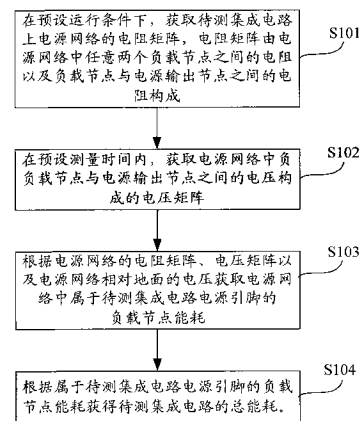
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 4 页

(54) 发明名称

集成电路能耗测量方法、装置及系统

(57) 摘要

本发明实施例提供一种集成电路能耗测量方法、装置及系统。该方法包括：在预设运行条件下，获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵，电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成；在预设测量时间内，获取电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵；根据电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及电源网络相对地面的电压获取电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗；根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得待测集成电路的总能耗。本发明实施例无需对待测集成电路板做任何改动，并能够测量大规模、电源引脚很多的集成电路，提高了测量精度。



1. 一种集成电路能耗测量方法,其特征在于,包括:

在预设运行条件下,获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵,所述电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成,所述电阻矩阵由所述电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻构成;

在预设测量时间内,获取所述电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵;

根据所述电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及所述电源网络相对地面的电压获得所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗;

根据所述属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得所述待测集成电路的总能耗。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述预设运行条件下,获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵包括:

测量所述电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻;

根据所述任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻生成所述电源网络对应的电阻矩阵,所述电阻矩阵的对角线元素为所述负载节点与电源输出节点之间的电阻,所述电阻矩阵的其他元素为所述任意两个负载节点之间的电阻。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述在预设测量时间内,获取所述电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵包括:

测量预设测量时间内所述电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压;

根据所述负载节点与电源输出节点之间的电压生成所述电源网络对应的电压矩阵。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述根据所述电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及所述电源网络相对地面的电压获得所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗包括:

根据所述电源网络的电阻矩阵和电压矩阵获取所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点上的电流;

根据所述属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点上的电流以及所述电源网络相对地面的电压获得所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗。

5. 一种集成电路能耗测量装置,其特征在于,包括:

测量模块,用于在预设运行条件下,获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵,所述电阻矩阵由所述电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻构成,并在预设测量时间内,获取所述电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵,所述电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成;

数据处理模块,用于根据所述测量模块测量的所述电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及所述电源网络相对地面的电压获得所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗,并根据所述属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得所述待测集成电路的总能耗。

6. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于,所述测量模块包括:

电阻矩阵测量单元,用于获取待测集成电路上所述电源网络中的所述电阻矩阵;

电压矩阵测量单元,用于获取所述电源网络中的所述电压矩阵。

7. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述电阻矩阵测量单元包括:

电阻测量子单元,用于测量所述电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻;

电阻矩阵生成子单元,用于根据所述电阻测量子单元测量的任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻生成所述电源网络对应的电阻矩阵,所述电阻矩阵的对角线元素为所述负载节点与电源输出节点之间的电阻,所述电阻矩阵的其他元素为所述任意两个负载节点之间的电阻。

8. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述电压矩阵测量单元包括:

电压测量子单元,用于测量预设测量时间内所述电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压;

电压矩阵生成子单元,用于根据所述电压测量子单元测量的负载节点与电源输出节点之间的电压生成所述电源网络对应的电压矩阵。

9. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于,所述数据处理模块包括:

电流计算单元,用于根据所述测量模块测量的所述电源网络的电阻矩阵和电压矩阵获取所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点上的电流;

能耗计算单元,用于根据所述电流计算单元计算的所述每个负载节点上的电流以及相对地面的电压获得所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗,并根据所述属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得在所述预设运行条件下、待测集成电路的总能耗。

10. 一种集成电路能耗测量系统,其特征在于,包括控制模块、显示模块以及如权利要求5~9任一项所述的集成电路能耗测量装置;

所述控制模块用于设置运行条件和测量时间,控制所述集成电路能耗测量装置进行测量及数据处理;

所述显示模块用于在所述控制模块的控制下显示所述集成电路能耗测量装置的测量及数据处理结果。

集成电路能耗测量方法、装置及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电路技术领域,尤其涉及一种集成电路能耗测量方法、装置及系统。

背景技术

[0002] 目前,为了满足节能减排的需求,进行绿色节能产品开发,测试集成电路单板能耗不仅需要针对整块单板,还要针对单板中各模块或芯片等主要器件进行能耗测试,进而为开发人员设计单板电源提供参考。

[0003] 现有的能耗测试方法需要修改电路板,在待测电路中加入电流互感器或采样电阻等器件进行测量,这种测量方法的测量精度受到采样器件的制约,较难测量大规模、电源引脚很多的集成电路。

发明内容

[0004] 本发明实施例提供一种集成电路能耗测量方法、装置及系统,用以解决现有技术中测量精度受采样器件影响很大,并且无法测量大规模、电源引脚很多的集成电路的问题。

[0005] 本发明实施例提供一种集成电路能耗测量方法,包括:

[0006] 在预设运行条件下,获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵,所述电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成,所述电阻矩阵由所述电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻构成;

[0007] 在预设测量时间内,获取所述电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵;

[0008] 根据所述电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及所述电源网络相对地面的电压获得所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗;

[0009] 根据所述属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获取所述待测集成电路上的总能耗。

[0010] 本发明实施例提供一种集成电路能耗测量装置,包括:

[0011] 测量模块,用于在预设运行条件下,获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵,所述电阻矩阵由所述电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻构成,并在预设测量时间内,获取所述电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵,所述电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成;

[0012] 数据处理模块,用于根据所述测量模块测量的所述电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及所述电源网络相对地面的电压获得所述电源网络中属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗,并根据所述属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得所述待测集成电路的总能耗。

[0013] 本发明实施例还提供一种集成电路能耗测量系统,包括控制模块、显示模块以及集成电路能耗测量装置;

[0014] 所述控制模块用于设置运行条件和测量时间,控制所述集成电路能耗测量装置进行测量及数据处理;

[0015] 所述显示模块用于在所述控制模块的控制下显示所述集成电路能耗测量装置的测量及数据处理结果。

[0016] 本发明实施例的集成电路能耗测量方法、装置及系统,通过测量集成电路中各电源输出节点和与之连接的负载节点构成电源网络中的电阻矩阵和电压矩阵,获得属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗,进而获得待测集成电路的能耗,能够测量大规模、电源引脚很多的集成电路,无需对待测集成电路板做任何改动,提高了测量精度。

附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0018] 图 1 为本发明一个实施例提供的集成电路能耗测量方法流程图;

[0019] 图 2 为本发明实施例提供的电源网络结构示意图一;

[0020] 图 3 为本发明又一个实施例提供的集成电路能耗测量方法流程图;

[0021] 图 4 为本发明实施例提供的电源网络结构示意图二;

[0022] 图 5 为本发明一个实施例提供的集成电路能耗测量装置结构示意图;

[0023] 图 6 为本发明又一个实施例提供的集成电路能耗测量装置结构示意图;

[0024] 图 7 为本发明一个实施例提供的集成电路能耗测量系统结构示意图。

具体实施方式

[0025] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0026] 图 1 为本发明一个实施例提供的集成电路能耗测量方法流程图,如图 1 所示,该方法包括:

[0027] S101、在预设运行条件下,获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵,其中,电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成,该电阻矩阵由电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻构成;

[0028] S102、在预设测量时间内,获取电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵;

[0029] 其中,S101 和 S102 并无先后顺序,先测量电阻矩阵或先测量电压矩阵均可。运行条件包括待测集成电路的中央处理单元(Central Processing Unit;以下简称:CPU)内核温度、工作频率等运行参数,在对待测集成电路进行测量前,可以使待测集成电路运行于某一运行条件下,这样便于在最后得出待测集成电路的能耗时,能够分析能耗与运行参数的关系,进而对不同运行参数下的能耗情况进行评估。

[0030] 通常,一个印刷电路板(PrintedCircuitBoard;以下简称:PCB)上具有多个集成电路,可以分别对各个集成电路的能耗进行测量。电源网络是指PCB板上某一电源输出节点和与之连接的所有过孔、焊盘和PCB走线构成的网络,其中,电源输出节点是为PCB板供电的节点。其中,PCB走线和过孔是电源网络的连线,焊盘是电源网络的节点,除了电源输出节点以外的节点都是负载节点,而负载节点中的一部分是待测集成电路板的电源引脚,电源引脚是为集成电路供电的节点,集成电路的电源引脚可能分别属于各个不同的电源网络,测量集成电路的能耗主要是测量集成电路板上各电源引脚的能耗。

[0031] 在一个电源网络中,我们通常只需选取电流较大的负载节点,而将电流较小的负载节点忽略,选取的负载节点越多,测量的精度越高。图2给出了一个电源网络的结构示意图,参见图2,该电源网络中包括一个电源输出节点和三个负载节点,该电源网络中的所有过孔均合并到PCB走线上,则电源网络上任意两个节点之间的电阻为PCB走线电阻与过孔电阻之和。可以将电源网络中的各个节点进行编号,测量出电源网络上任意两个节点之间的电阻,从而得出电源网络的电阻矩阵,由于每个电源网络的拓扑结构是确定的,因此,每个电源网络的电阻矩阵也是确定的,每个电源网络的电阻矩阵只需要测量一次。

[0032] 在测量电源网络的电压矩阵时,只需要考虑电源输出节点与负载节点之间的电压,在待测集成电路通电后,电源输出节点与负载节点之间的电压通常只有几十毫伏,甚至更小,可以在预设的一段采集时间内,实施采集电源输出节点与各负载节点之间的电压,并构成电压矩阵,这样可以获取在一段采集时间内的电源网络上各负载节点的能耗曲线。

[0033] S103、根据电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及电源网络相对地面的电压获得电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗;

[0034] 根据每个电源网络的电阻矩阵和电压矩阵,可以获得电源网络中各个负载节点上的电流,而电源网络中的负载节点中,只有一部分是待测集成电路的电源引脚,我们只关心这部分电源引脚的能耗,根据该电源网络相对地面的电压,便可获取属于待测集成电路电源引脚的负载节点在该电源网络上的能耗,其中,电源网络相对地面的电压即为电源网络相对于“零电位”的电压。

[0035] S104、根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得待测集成电路的总能耗。

[0036] 待测集成电路的能耗为各个电源引脚分别在各自的电源网络中的能耗总和,在测量结束之后,可以将集成电路的能耗至与测量时间描绘成关系曲线,从而能够观察集成电路能耗的变化趋势。进一步的,还可以得出集成电路的能耗与CPU占用率、内核温度、运行频率等参数之间的关系曲线,便于开发集成电路时进行器件选型、电源设计和能耗管理,进而有利于节能减排,降低成本并推广绿色节能产品。

[0037] 本实施例提供的集成电路能耗测量方法,通过测量集成电路中各电源输出节点和与之连接的负载节点构成电源网络中的电阻矩阵和电压矩阵,获得属于待测集成电路电源引脚的负载节点在待测集成电路上的能耗,进而获得待测集成电路的能耗,能够测量大规模、电源引脚很多的集成电路,并且无需对待测集成电路板做任何改动,提高了测量精度。

[0038] 图3为本发明又一个实施例提供的集成电路能耗测量方法流程图,如图3所示,该方法包括:

[0039] S201、测量电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节

点之间的电阻；

[0040] S202、根据任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻生成每个电源网络对应的电阻矩阵，电阻矩阵的对角线元素为负载节点与电源输出节点之间的电阻，电阻矩阵的其他元素为任意两个负载节点之间的电阻；

[0041] 参见图 4，可以对电源网络中的各节点进行编号，构建电阻矩阵，构建电阻矩阵可以采用如下方式：

$$[0042] \quad R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

[0043] 其中，电阻矩阵中的对角线元素 R_{ii} 表示负载节点 i 与电源输出节点之间的电阻，其他元素 R_{ij} ($i \neq j$) 表示负载节点 i 与负载节点 j 之间的电阻，例如： R_{11} 表示负载节点 1 与电源输出节点之间的电阻， R_{23} 表示负载节点 2 和负载节点 3 之间的电阻。显然， $R_{ij} = R_{ji}$ ，即该电阻矩阵是对称矩阵。

[0044] 以上仅给出一个构成电阻矩阵的例子，电阻矩阵还可以采用其他形式构建，不一一列举。

[0045] S203、测量预设测量时间内电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压；

[0046] S204、根据负载节点与电源输出节点之间的电压生成电源网络对应的电压矩阵；

[0047] 电压矩阵可以采用如下形式：

$$[0048] \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

[0049] 其中 U_i 表示负载节点 i 与电源输出节点之间的电压差。由于电源网络各节点之间的电阻很小，负载节点与电源输出节点之间的电压差通常也只有几十毫伏，甚至更小。

[0050] 以上仅为构成电压矩阵的一个例子，电压矩阵的构建方法还可以随着电阻矩阵构建方式的变化而变化。

[0051] S205、根据电源网络的电阻矩阵和电压矩阵获取电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点上的电流；

[0052] 具体的，电阻矩阵 R 的逆矩阵是电源网络的导纳矩阵 Y ， Y 可表示为

$$[0053] \quad Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix}$$

[0054] 导纳矩阵的对角线元素 Y_{ii} 表示负载节点 i 与电源输出节点之间的导纳，其他元素 Y_{ij} ($i \neq j$) 表示负载节点 i 与负载节点 j 之间的导纳。导纳矩阵与电阻矩阵一样是对称矩阵。根据欧姆定律，流过各个负载节点的电流矩阵为：

$$[0055] \quad \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

[0056] 其中，电流矩阵 I 的每一项 I_i 表示流过负载节点 i 的电流。

[0057] S206、根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点上的电流以及电源网络相对地面的电压获得电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗；

[0058] 由于获得了电流矩阵 I 的每一项 I_i 表示流过负载节点 i 的电流，因此，可以根据该电源网络相对地面的电压获得属于待测集成电路电源引脚的负载节点在该电源网络上的能耗。

[0059] S207、根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得待测集成电路的总能耗。

[0060] 对于一个电源网络中选取的负载节点，不一定是同一个集成电路的电源引脚焊盘。因此，如果要计算某个集成电路在该电源网络消耗的功率，就要计算该集成电路在该电源网络上所有电源引脚的焊盘的功耗。比如，上述电源网络的 3 个负载点中，负载节点 1 和负载节点 3 是集成电路 A 的电源引脚的焊盘，而负载节点 2 是集成电路 B 的电源引脚的焊盘。如果要计算集成电路 A 在上述电源网络消耗的功率，就要把负载节点 1 和负载节点 3 的电流挑选出来，形成电流矩阵 I' ：

$$[0061] \quad I' = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_3 \end{bmatrix}$$

[0062] 当然，如果上述 3 个负载节点都是集成电路 A 的电源引脚焊盘，那么 $I' = I$ 。若电源网络相对地面电压是 V_1 ，那么电流 I' 所消耗的功率矩阵 P_1 ：

$$[0063] \quad P_1 = V_1 \times I' = \begin{bmatrix} V_1 \times I_1 \\ V_1 \times I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_3 \end{bmatrix}$$

[0064] 其中， p_1 和 p_3 分别表示负载节点 1 和负载节点 3 所消耗的功率。因为负载节点 1 和负载节点 3 都是集成电路 A 的电源引脚在电源网络 V_1 上的焊盘，集成电路 A 在电源网络 V_1 上消耗的功率 P_{V_1} 是矩阵 P_1 中所有元素之和为：

$$[0065] \quad P_{V_1} = \sum p_i$$

[0066] 其中， p_i 是待测集成电路电源引脚在电源网络 V_1 上的焊盘，即负载节点 i 所消耗的功率。在这里，集成电路 A 在电源网络 V_1 上消耗的功率为：

$$[0067] \quad P_{V_1} = p_1 + p_3$$

[0068] 实际上很多集成电路连到多个电源网络上，例如：集成电路 A 还连到电压分别为 V_2, \dots, V_n 的 n 个电源网络上，那么集成电路 A 的能耗是其在 n 个电源网络上消耗的功耗之和，可以分别提取 n 个电源网络对应的电阻矩阵和电压矩阵，再分别计算出在这些电源网络上的能耗：

$$[0069] \quad P = \sum_{i=1}^n P_{v_i}$$

[0070] 其中， P_{v_i} 是待测集成电路在电源网络 V_i 上的能耗，可以由电源网络 V_i 的电阻矩阵、电压矩阵和电源网络电压值 V_i 计算出。如果集成电路 A 有三种电源引脚焊盘，分别连到电压为 V_1, V_2 和 V_3 的三个电源网络上，那么集成电路 A 的能耗为：

$$[0071] \quad P = P_{v_1} + P_{v_2} + P_{v_3}$$

[0072] 当然，如果集成电路 A 只有一种电源引脚焊盘，连到电源网络 V_1 上，可以算出集成电路能耗为：

$$[0073] \quad P = P_{v_1}$$

[0074] 待测集成电路的能耗为各个电源引脚在各自电源网络上的能耗总和,在测量结束之后,可以将集成电路的能耗至与测量时间描绘成关系曲线,从而能够观察集成电路能耗的变化趋势。进一步的,还可以得出集成电路的能耗与 CPU 占用率、内核温度、运行频率等参数之间的关系曲线。

[0075] 本实施例提供的集成电路能耗测量方法,通过测量集成电路中各电源输出节点和与之连接的负载节点构成电源网络中的电阻矩阵和电压矩阵,得到属于待测集成电路电源引脚的负载节点上流过的电流,进而获得属于待测集成电路电源引脚的负载节点在待测集成电路上的能耗,能够测量大规模、电源引脚很多的集成电路,无需对待测集成电路所在的 PCB 板做任何改动,提高了测量精度。本实施例便于开发集成电路时进行器件选型、电源设计和能耗管理,进而有利于节能减排,降低成本并推广绿色节能产品。

[0076] 本领域普通技术人员可以理解:实现上述方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序指令相关的硬件来完成,前述的程序可以存储于一计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,执行包括上述方法实施例的步骤;而前述的存储介质包括:ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0077] 图 5 为本发明一个实施例提供的集成电路能耗测量装置结构示意图,如图 5 所示,该装置包括:测量模块 51 和数据处理模块 52;

[0078] 测量模块 51,用于在预设运行条件下,获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵,该电阻矩阵由电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻构成,并在预设测量时间内,获取电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵,电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成;

[0079] 数据处理模块 52,用于根据测量模块 51 测量的所述电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及电源网络相对地面的电压获得电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗,并根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得待测集成电路的总能耗。

[0080] 其中,预设运行条件包括待测集成电路的 CPU 内核温度、工作频率等运行参数,在对待测集成电路进行测量前,可以对待测集成电路进行设置,使待测集成电路在某一运行条件下运行,进而可以在得出待测集成电路的能耗时,能够分析能耗与运行参数的关系,进而对不同运行参数下的能耗情况进行评估。

[0081] 电源网络是 PCB 板上某一电源输出节点和与之连接的所有过孔、焊盘和 PCB 走线构成的网络。其中,PCB 走线和过孔是电源网络的连线,焊盘是电源网络的节点,除了电源输出节点以外的节点都是负载节点,而负载节点中的一部分是待测集成电路板的电源引脚,集成电路的电源引脚可能分别属于各个不同的电源网络,测量集成电路的能耗主要是测量集成电路上各电源引脚的能耗。

[0082] 在一个电源网络中,通常只需选取电流较大的负载节点,而将电流较小的负载节点忽略,选取的负载节点越多,测量的精度越高。电源网络上任意两个节点之间的电阻为 PCB 走线电阻与过孔电阻之和。在测量之前,可以在设置每个电源网络中的负载节点数,并将电源网络中的各个节点进行编号,从而通过测量模块 51 依次测量电源网络上任意两个节点之间的电阻,并将这些电阻至保存在测量模块 51 中,待所有阻值测量完毕之后,在测量模块 51 中得出电源网络的电阻矩阵。由于每个电源网络的拓扑结构是确定的,因此,每个电源网络的电阻矩阵也是确定的,每个电源网络的电阻矩阵只需要测量一次,在测量结

束之后,测量模块 51 将测量所得的每个电源网络的电阻矩阵发送至数据处理模块 52。

[0083] 在测量电源网络的电压矩阵时,只需要考虑电源输出节点与负载节点之间的电压。在待测集成电路通电后,可以在预设的一段采集时间内,实时采集电源输出节点与各负载节点之间的电压,并构成电压矩阵,这样可以获取在一段采集时间内的电源网络上各负载节点的能耗曲线。

[0084] 具体的,测量时间可以预先进行设置,可以在测量模块 51 中设置测量开始、结束标志,在测量过程中,当测量模块 51 检测到与预先定义的测量开始标记匹配的内容就开始测量,当测量模块 51 检测到预先定义的结束标记时便停止测量。测量模块 51 每进行一次测量就把测量到的电压数据构建成电压矩阵,并将电压矩阵发送至数据处理模块 52。

[0085] 为了全面评估集成电路运行在特定模式下的能效,测量模块 51 一检测到到测量开始,便自动反复采集电压数据并发送电压矩阵到数据处理模块 52,直至测量模块 51 检测到结束标志为止。

[0086] 数据处理模块 52 获取到测量模块 51 发送的每个电源网络的电阻矩阵和电压矩阵后,可以获得电源网络中各个负载节点上的电流,而电源网络中的负载节点中,只有一部分是待测集成电路的电源引脚,我们这部分电源引脚的能耗,根据该电源网络相对地面的电压,即电源网络相对于“零电位”的电压便可获取属于待测集成电路电源引脚的负载节点在该电源网络上的能耗。

[0087] 待测集成电路的能耗为各个电源引脚在各自的电源网络中的能耗总和,在测量结束之后,数据处理模块 52 可以将集成电路的能耗至与测量时间描绘成关系曲线,从而能够观察集成电路能耗的变化趋势。进一步的,数据处理模块 52 还可以得出集成电路的能耗与 CPU 占用率、内核温度、运行频率等参数之间的关系曲线,便于开发集成电路时进行器件选型、电源设计和能耗管理,进而有利于节能减排,降低成本并推广绿色节能产品。

[0088] 本实施例提供的集成电路能耗测量装置,通过测量集成电路中各电源输出节点和与之连接的负载节点构成电源网络中的电阻矩阵和电压矩阵,获得属于待测集成电路电源引脚的负载节点在待测集成电路上的能耗,进而获得待测集成电路的能耗,能够测量大规模、电源引脚很多的集成电路,无需对待测集成电路板做任何改动,提高了测量精度。

[0089] 图 6 为本发明又一个实施例提供的集成电路能耗测量装置结构示意图,如图 6 所示,该装置包括:测量模块 51 和数据处理模块 52;

[0090] 进一步的,测量模块 51 包括:电阻矩阵测量单元 511 和电压矩阵测量单元 512;

[0091] 电阻矩阵测量单元 511,用于获取待测集成电路上电源网络中的电阻矩阵;

[0092] 电阻矩阵测量单元 511 包括:电阻测量子单元 5111 和电阻矩阵生成子单元 5112;

[0093] 电阻测量子单元 5111,用于测量电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻;

[0094] 电阻矩阵生成子单元 5112,用于根据电阻测量子单元 5111 测量的任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻生成电源网络对应的电阻矩阵,电阻矩阵的对角线元素为负载节点与电源输出节点之间的电阻,阻矩阵的其他元素为任意两个负载节点之间的电阻。

[0095] 电压矩阵测量单元 512,用于获取电源网络中的电压矩阵;

[0096] 电压矩阵测量单元 512 包括:电压测量子单元 5121 和电压矩阵生成子单元 5122;

[0097] 电压测量子单元 5121,用于测量预设测量时间内电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压;

[0098] 电压矩阵生成子单元 5122,用于根据电压测量子单元 5121 测量的负载节点与电源输出节点之间的电压生成电源网络对应的电压矩阵。

[0099] 数据处理模块 52 包括:电流计算单元 521 和能耗计算单元 522;

[0100] 电流计算单元 521,用于根据测量模块 51 测量的电源网络的电阻矩阵和电压矩阵获得电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点上的电流;

[0101] 能耗计算单元 522,用于根据电流计算单元 521 计算的每个负载节点上的电流以及相对地面的电压获得电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗,并根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获取预设运行条件下、待测集成电路的总能耗。

[0102] 具体的,电阻矩阵测量单元 511 中的电阻测量子单元 5111 测量电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻,电阻矩阵生成子单元 5112 根据任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻生成每个电源网络对应的电阻矩阵,电阻矩阵的对角线元素为负载节点与电源输出节点之间的电阻,电阻矩阵的其他元素为任意两个负载节点之间的电阻。

[0103] 电阻矩阵生成子单元 5112 可以对电源网络中的各节点进行编号,构建电阻矩阵,构建电阻矩阵可以采用如下方式:

$$[0104] \quad R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

[0105] 其中,电阻矩阵中的对角线元素 R_{ii} 表示负载节点 i 与电源输出节点之间的电阻,其他元素 R_{ij} ($i \neq j$) 表示负载节点 i 与负载节点 j 之间的电阻,例如: R_{11} 表示负载节点 1 与电源输出节点之间的电阻, R_{23} 表示负载节点 2 和负载节点 3 之间的电阻。显然, $R_{ij} = R_{ji}$,即该电阻矩阵是对称矩阵。当然,电阻矩阵生成子单元 5112 还可以采用其他形式生成电阻矩阵,不一一列举。

[0106] 电压矩阵测量单元 512 中的电压测量子单元 5121 测量预设测量时间内电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压,电压矩阵生成子单元 5122 根据负载节点与电源输出节点之间的电压生成电源网络对应的电压矩阵,电压矩阵可以采用如下形式:

$$[0107] \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

[0108] 其中 U_i 表示负载节点 i 与电源输出节点之间的电压差。由于电源网络各节点之间的电阻很小,负载节点与电源输出节点之间的电压差通常也只有几十毫伏,甚至更小。电压矩阵生成子单元 5122 还可以根据电阻矩阵生成子单元 5112 生成电阻矩阵方式的变化而变化。

[0109] 数据处理模块 52 中的电流计算单元 521 根据电源网络的电阻矩阵和电压矩阵获取电源网络中属于待测集成电路的负载节点上的电流,具体的,电阻矩阵 R 的逆矩阵是电源网络的导纳矩阵 Y , Y 可表示为:

$$[0110] \quad Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix}$$

[0111] 导纳矩阵的对角线元素 Y_{ii} 表示负载节点 i 与电源输出节点之间的导纳,其他元素 Y_{ij} ($i \neq j$) 表示负载节点 i 与负载节点 j 之间的导纳。导纳矩阵与电阻矩阵一样是对称矩阵。根据欧姆定律,流过各个负载节点的电流矩阵为:

$$[0112] \quad \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

[0113] 其中,电流矩阵 I 的每一项 I_i 表示流过负载节点 i 的电流。

[0114] 数据处理模块 52 中的能耗计算单元 522 根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点上的电流以及电源网络相对地面的电压获得电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点的能耗,由于获得了电流矩阵 I 的每一项 I_i 表示流过负载节点 i 的电流,因此,能耗计算单元 522 可以根据该电源网络相对地面的电压获得属于所述待测集成电路电源引脚的负载节点在该电源网络上的能耗。

[0115] 进一步的,能耗计算单元 522 根据待测集成电路的电源引脚在各自的电源网络中的能耗获得待测集成电路上的总能耗。

[0116] 对于一个电源网络中选取的负载节点,不一定是同一个集成电路的电源引脚焊盘。因此,如果要计算某个集成电路在该电源网络消耗的功率,就要计算该集成电路在该电源网络上所有电源引脚的焊盘的功耗。比如,上述电源网络的 3 个负载点中,负载节点 1 和负载节点 3 是集成电路 A 的电源引脚的焊盘,而负载节点 2 是集成电路 B 的电源引脚的焊盘。如果要计算集成电路 A 在上述电源网络消耗的功率,就要把负载节点 1 和负载节点 3 的电流挑选出来,形成电流矩阵 I' :

$$[0117] \quad I' = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_3 \end{bmatrix}$$

[0118] 当然,如果上述 3 个负载节点都是集成电路 A 的电源引脚焊盘,那么 $I' = I$ 。若电源网络相对地面电压是 V_1 ,那么电流 I' 所消耗的功率矩阵 P_1 :

$$[0119] \quad P_1 = V_1 \times I' = \begin{bmatrix} V_1 \times I_1 \\ V_1 \times I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_3 \end{bmatrix}$$

[0120] 其中, p_1 和 p_3 分别表示负载节点 1 和负载节点 3 所消耗的功率。因为负载节点 1 和负载节点 3 都是集成电路 A 的电源引脚在电源网络 V_1 上的焊盘,集成电路 A 在电源网络 V_1 上消耗的功率 P_{V1} 是矩阵 P_1 中所有元素之和为:

$$[0121] \quad P_{V1} = \sum p_i$$

[0122] 其中, p_i 是待测集成电路电源引脚在电源网络 V_1 上的焊盘,即负载节点 i 所消耗的功率。在这里,集成电路 A 在电源网络 V_1 上消耗的功率为:

$$[0123] \quad P_{V1} = p_1 + p_3$$

[0124] 实际上很多集成电路连到多个电源网络上,例如:集成电路 A 还连到电压分别为 V_2, \dots, V_n 的 n 个电源网络上,那么集成电路 A 的能耗是其在 n 个电源网络上消耗的功耗之

和,可以分别提取 n 个电源网络对应的电阻矩阵和电压矩阵,再分别计算出在这些电源网络上的能耗:

$$[0125] \quad P = \sum_{i=1}^n P_{v_i}$$

[0126] 其中, P_{v_i} 是待测集成电路在电源网络 V_i 上的能耗,可以由电源网络 V_i 的电阻矩阵、电压矩阵和电源网络电压值 V_i 计算出。如果集成电路 A 有三种电源引脚焊盘,分别连到电压为 V_1 、 V_2 和 V_3 的三个电源网络上,那么集成电路 A 的能耗为:

$$[0127] \quad P = P_{v_1} + P_{v_2} + P_{v_3}$$

[0128] 当然,如果集成电路 A 只有一种电源引脚焊盘,连到电源网络 V_1 上,那么只需要一个能耗计算单元就可以算出集成电路能耗:

$$[0129] \quad P = P_{v_1}$$

[0130] 能耗计算单元 522 获得的待测集成电路的能耗为待测集成电路中各个电源引脚在各自电源网络上的能耗总和,能耗计算单元 522 还可以分别计算出集成电路的能耗与 CPU 占用率、内核温度、运行频率等参数之间的关系,从而得出集成电路的能耗与各种运行参数之间的关系曲线。

[0131] 进一步的,基于该装置测量集成电路能耗的方法,数据处理模块 52 还可以计算出 CPU 执行指令的能耗,执行一条指令的能耗,执行某段程序脚本的能耗。

[0132] 本实施例提供的集成电路能耗测量装置,通过测量集成电路中各电源输出节点和与之连接的负载节点构成电源网络中的电阻矩阵和电压矩阵,得到属于待测集成电路电源引脚的负载节点上流过的电流,进而获得属于待测集成电路电源引脚的负载节点在待测集成电路上的能耗,能够测量大规模、电源引脚很多的集成电路,无需对待测集成电路所在的 PCB 板做任何改动,提高了测量精度。便于开发集成电路时进行器件选型、电源设计和能耗管理,进而有利于节能减排,降低成本并推广绿色节能产品。

[0133] 图 7 为本发明一个实施例提供的集成电路能耗测量系统结构示意图,如图 7 所示,该装置包括控制模块 1、显示模块 2 以及集成电路能耗测量装置 3;

[0134] 控制模块 1 用于设置运行条件和测量时间,控制集成电路能耗测量装置 3 进行测量及数据处理;

[0135] 集成电路能耗测量装置 3 用于在在控制模块 1 的控制下,在设置的运行条件下获取待测集成电路上电源网络的电阻矩阵,电阻矩阵由电源网络中任意两个负载节点之间的电阻以及负载节点与电源输出节点之间的电阻构成,并在设置的测量时间内,在控制模块 1 的控制下获取电源网络中负载节点与电源输出节点之间的电压构成的电压矩阵,电源网络由一个电源输出节点和与之连接的负载节点构成;根据测量的电源网络的电阻矩阵、电压矩阵以及电源网络相对地面的电压获得电源网络中属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗,并根据属于待测集成电路电源引脚的负载节点能耗获得待测集成电路的总能耗;

[0136] 显示模块 2 用于在控制模块 1 的控制下显示所述集成电路能耗测量装置 3 的测量及数据处理结果。

[0137] 其中,预设运行条件包括待测集成电路的 CPU 内核温度、工作频率等运行参数,在对待测集成电路进行测量前,可以通过控制模块 1 对待测集成电路进行设置,使待测集成电路在某一运行条件下运行,进而可以在得出待测集成电路的能耗时,能够分析能耗与运

行参数的关系,进而对不同运行参数下的能耗情况进行评估。

[0138] 电源网络是 PCB 板上某一电源输出节点和与之连接的所有过孔、焊盘和 PCB 走线构成的网络。其中,PCB 走线和过孔是电源网络的连线,焊盘是电源网络的节点,除了电源输出节点以外的节点都是负载节点,而负载节点中的一部分是待测集成电路板的电源引脚,集成电路的电源引脚可能分别属于各个不同的电源网络,测量集成电路的能耗主要是测量集成电路上各电源引脚的能耗。

[0139] 在一个电源网络中,通常只需选取电流较大的负载节点,而将电流较小的负载节点忽略,选取的负载节点越多,测量的精度越高。电源网络上任意两个节点之间的电阻为 PCB 走线电阻与过孔电阻之和。在测量之前,可以在控制模块 1 中设置每个电源网络中的负载节点数,并将电源网络中的各个节点进行编号,从而使控制模块 1 控制集成电路能耗测量装置 3 依次测量电源网络上任意两个节点之间的电阻,并将这些电阻进行保存,待所有阻值测量完毕之后,在集成电路能耗测量装置 3 中得出电源网络的电阻矩阵。由于每个电源网络的拓扑结构是确定的,因此,每个电源网络的电阻矩阵也是确定的,每个电源网络的电阻矩阵只需要测量一次。

[0140] 在测量电源网络的电压矩阵时,只需要考虑电源输出节点与负载节点之间的电压。在待测集成电路通电后,可以在预设的一段采集时间内,集成电路能耗测量装置 3 实时采集电源输出节点与各负载节点之间的电压,并构成电压矩阵,这样可以获取在一段采集时间内的电源网络上各负载节点的能耗曲线。

[0141] 具体的,测量时间可以预先在控制模块 1 中进行设置,可以设置测量开始、结束标志,在测试过程中,不断反馈测量结果到控制模块 1,如果控制模块 1 检测到与预先定义的测量开始标记匹配的内容就控制集成电路能耗测量装置 3 开始测量,当控制模块 1 检测到预先定义的结束标记时控制集成电路能耗测量装置 3 停止测量。每进行一次测量就把测量到的电压数据构建成电压矩阵。

[0142] 为了全面评估集成电路运行在特定模式下的能效,控制模块 1 一检测到到测量开始,便控制集成电路能耗测量装置 3 自动反复采集电压数据,直至控制模块 1 检测到结束标志为止。

[0143] 集成电路能耗测量装置 3 根据每个电源网络的电阻矩阵和电压矩阵可以获得电源网络中各个负载节点上的电流,而电源网络中的负载节点中,只有一部分是待测集成电路的电源引脚,我们这部分电源引脚的能耗,根据该电源网络相对地面的电压,即电源网络相对于“零电位”的电压便可获取属于待测集成电路电源引脚的负载节点在该电源网络上的能耗。

[0144] 待测集成电路的能耗为各个电源引脚在各自的电源网络中的能耗总和,在测量结束之后,集成电路能耗测量装置 3 可以将集成电路的能耗至与测量时间描绘成关系曲线,从而能够观察集成电路能耗的变化趋势。进一步的,集成电路能耗测量装置 3 还可以得出集成电路的能耗与 CPU 占用率、内核温度、运行频率等参数之间的关系曲线,便于开发集成电路时进行器件选型、电源设计和能耗管理,进而有利于节能减排,降低成本并推广绿色节能产品。其中,集成电路能耗测量装置 3 的每一步测量结果及数据处理结果均可以通过显示模块 2 进行显示,从而使测量过程更加直观以及便于分析测量及结果数据。

[0145] 本实施例提供的集成电路能耗测量系统,通过测量集成电路中各电源输出节点和

与之连接的负载节点构成电源网络中的电阻矩阵和电压矩阵,获得属于待测集成电路电源引脚的负载节点在待测集成电路上的能耗,进而获得待测集成电路的能耗,能够测量大规模、电源引脚很多的集成电路,无需对待测集成电路板做任何改动,提高了测量精度。

[0146] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

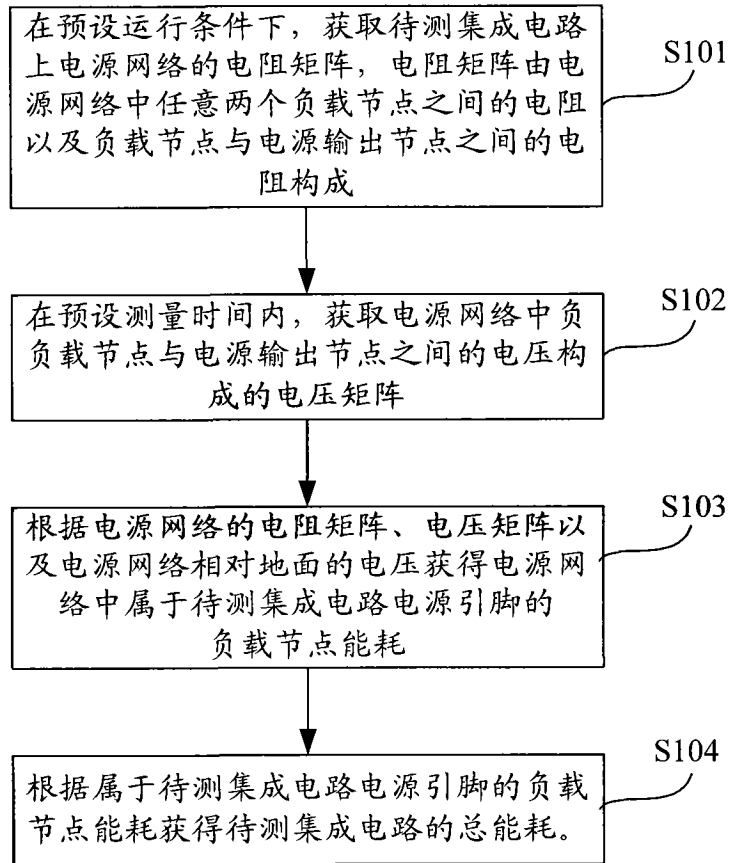


图 1

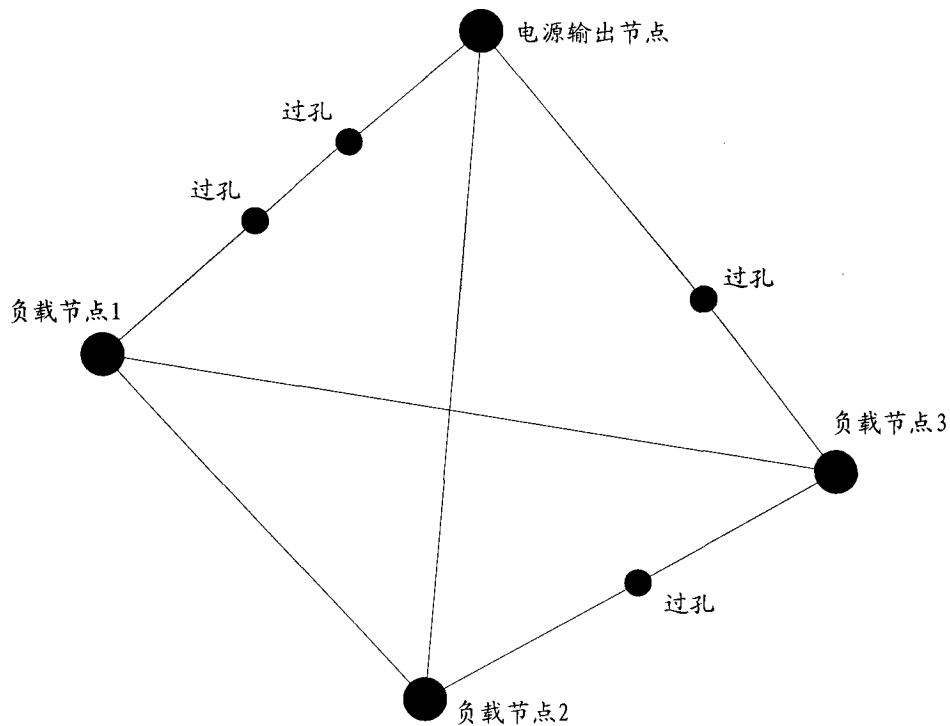


图 2

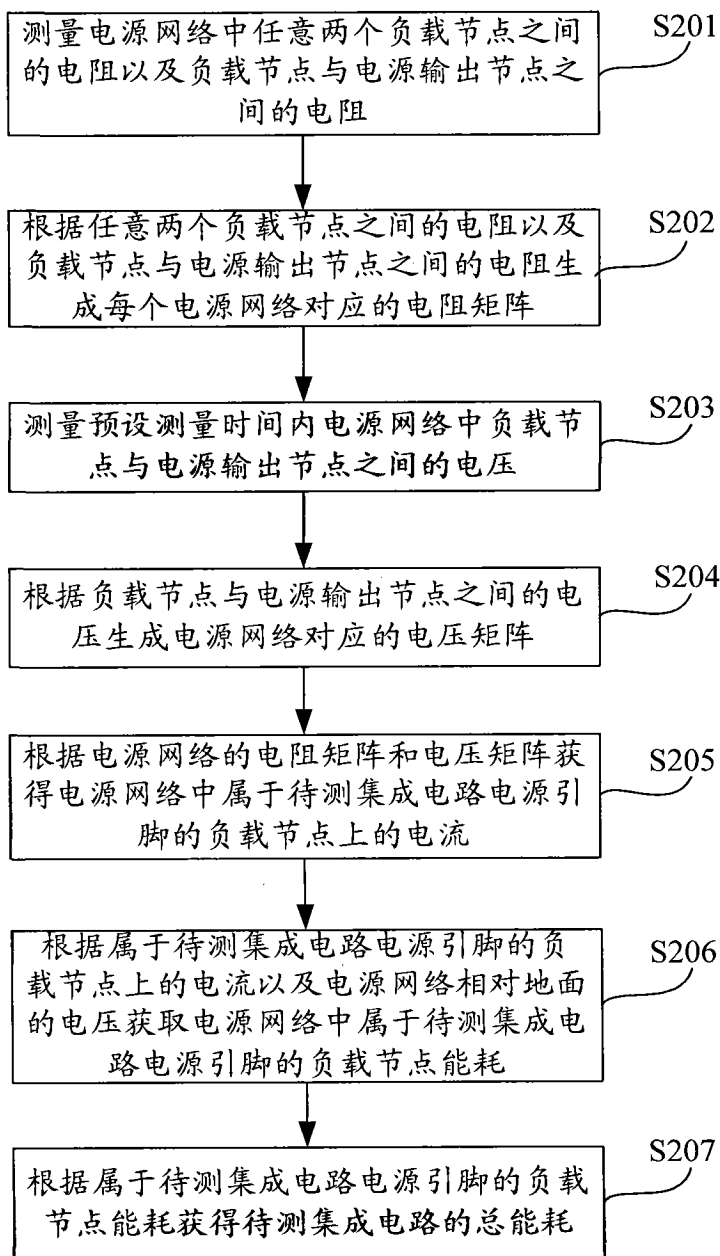


图 3

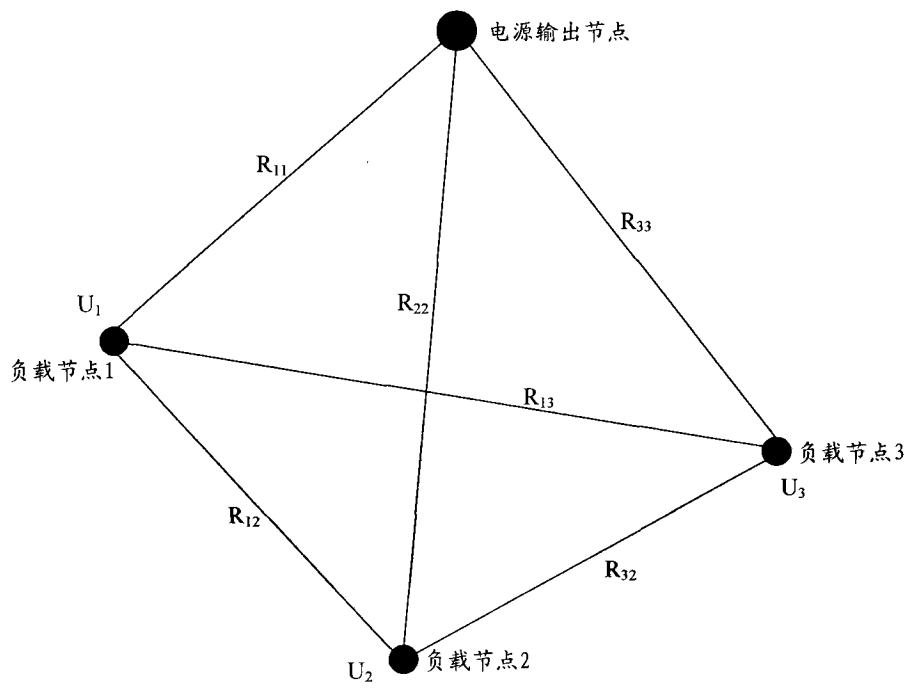


图 4

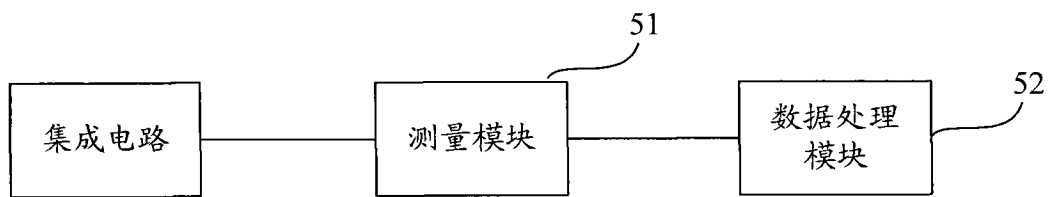


图 5

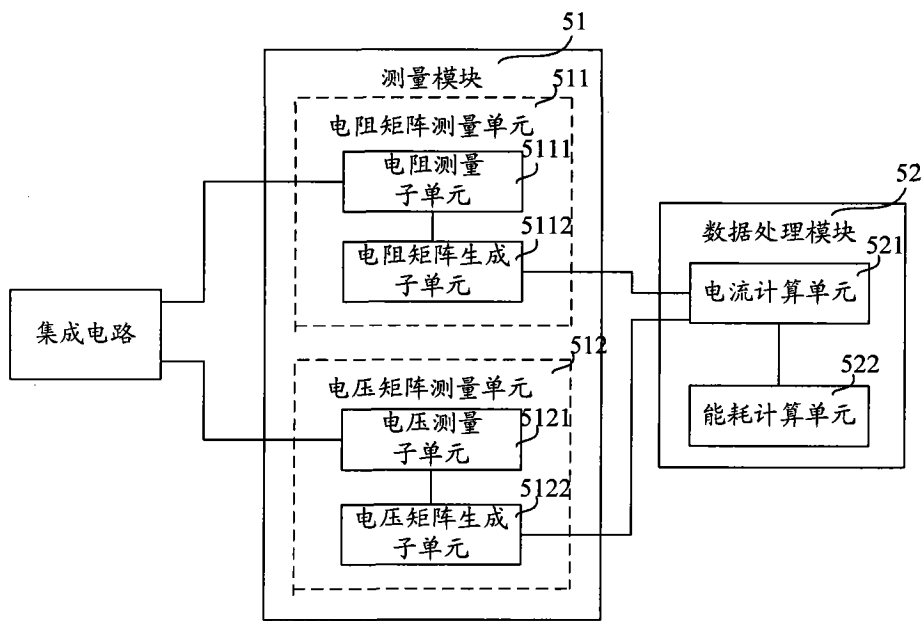


图 6

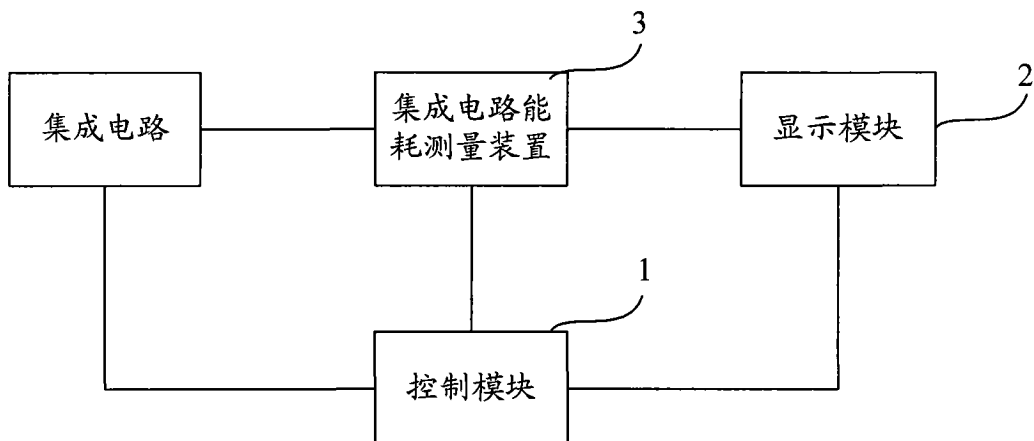


图 7