



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96117256.8

[43] 授权公告日 2003 年 5 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 1108528C

[22] 申请日 1996.11.30 [21] 申请号 96117256.8

[30] 优先权

[32] 1995.11.30 [33] US [31] 564543

[71] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 M·E·霍夫曼

R·J·普罗沃斯特 T·梅勒

G·P·拉瓦伊 M·J·普利斯

D·D·埃尔莫尔 W·R·杰默

J·W·马梅 D·F·布洛克

S·S·普特查 D·A·斯塔弗

A·C·伯特 C·W·克里藤登

E·D·埃奇

审查员 胡 斌

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

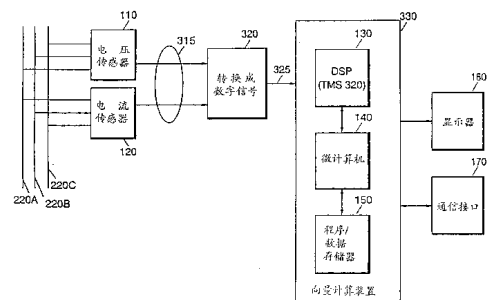
代理人 王忠忠 张志醒

权利要求书 11 页 说明书 21 页 附图 20 页

[54] 发明名称 向量电表及相关的向量电量测量方法

[57] 摘要

检测具有至少一条导电路径的电力线路上的线电压信号和线电流信号。将所检测的线电压和线电流转换成数字信号。从数字信号计算相电压信号和相电流信号，从而确定某一相电力线路。从所检测的电压和电力信号确定与从算出的相电压计算的基频基准信号的整数周期的通过一致的正交性区间。从算出的相电压和相电流信号计算预定正交性区间的向量测量量。要算的向量测量量根据相关的棘爪机构予以识别和计算，也可根据所识别的电力拓扑算出。



1. 一种测量具有至少两条导电路径的电力线路的电量的方法，包括由电表所执行的下列步骤：

5 检测电力线路上的线电压信号和线电流信号；

其特征在于，

为检测的线电压和线电流信号确定正交性区间；

将所检测的线电压和线电流信号转换成数字信号；以及

10 从所述数字信号计算所确定的正交性区间的电力线路的向量测量。

2. 根据权利要求1的方法，其特征在于，在所述计算向量测量的步骤之前为下列步骤：

从数字信号计算对应的数字相电压信号和数字相电流信号，从而限定电力线路的某一相；以及

15 所述计算向量测量的步骤包括从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的向量测量。

3. 根据权利要求2的方法，其特征在于，所述计算正交性区间的电力线路的向量测量的步骤包括下列步骤：

20 从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的向量表观伏安时。

4. 根据权利要求3的方法，其特征在于，所述计算正交性区间的电力线路的向量表观伏安时的步骤包括下列步骤：

从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的每个确定相所输送的能量；

25 从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的每个确定相的无功能量；

从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的每个确定相的表观伏安时；

30 从所计算的正交性区间的电力线路的每个确定相的能量、无功能量和表观伏安时计算正交性区间的电力线路的向量表观伏安时。

5. 根据权利要求2的方法，其特征在于，所述计算正交性区间的电力线路的向量测量的步骤包括下列步骤：

从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的无功能量。

5 6. 根据权利要求5的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路每个确定相的无功能量的步骤包括为每个相电压信号和对应的相电流信号所执行的下列步骤:

将具有第一传递函数的第一相移滤波器用于数字相电压信号, 从而计算第一相移数字相电压信号;

将具有第二传递函数的第二相移滤波器用于数字相电压信号, 从而计算第二相移数字相电压信号;

10 将具有第一传递函数的第三相移滤波器用于数字相电流信号, 从而计算第一相移数字相电流信号;

将具有第二传递函数的第四相移滤波器用于数字相电流信号, 从而计算第二相移数字相电流信号;

15 将第一相移数字相电压信号乘以第二相移数字相电流信号, 从而计算第一中间功率积信号;

将第二相移数字相电压信号乘以第一相移数字相电流信号, 从而计算第二中间功率积信号;

从第一中间功率积信号和第二中间功率积信号计算正交性区间的电力线路的确定相的无功能量。

20 7. 根据权利要求2的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的向量测量的步骤包括下列步骤:

从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的畸变伏安时。

25 8. 根据权利要求7的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的畸变伏安时的步骤包括下列步骤:

从正交性区间的数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的各确定相所传输的能量;

从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的各确定相的无功能量;

30 从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的各确定相的表观伏安时;

从正交性区间的电力线路的各确定相的能量、无功能量和表观伏安时计算正交性区间的电力线路的畸变伏安时。

9. 根据权利要求2的方法,其特征在于,所述计算正交性区间的电力线路的向量测定量的步骤包括下列步骤:

5 从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的畸变功率因数。

10. 根据权利要求1的方法,其特征在于,所述确定正交性区间的步骤包括下列步骤:

10 从所检测的线电压信号和线电流信号产生相电压信号,从而限定电力线路的某一相;以及

从相电压信号确定正交性区间。

11. 根据权利要求2的方法,其特征在于,在所述计算数字相电压信号和数字相电流信号的步骤之前为下列步骤:

识别电力线路的电路拓扑;以及

15 其中计算数字相电压信号和数字相电流信号的步骤包括根据所识别的电力线路的电路拓扑计算数字相电压信号和数字相电流信号的步骤。

12. 根据权利要求2的方法,其特征在于,所述计算向量测定量的步骤包括下列步骤:

20 从所计算的数字相电流信号计算电力线路的中性线电流值。

13. 根据权利要求2的方法,其特征在于,所述计算向量测定量的步骤包括下列步骤:

从数字信号计算正交性区间的电力线路的有效线电压。

25 14. 根据权利要求2的方法,其特征在于,在所述计算向量测定量的步骤之前为下列步骤:

识别待测的向量测量量;以及

其中计算向量测定量的所述步骤包括计算所识别的向量测量量的步骤。

30 15. 根据权利要求2的方法,其特征在于,在所述计算向量测定量的步骤之前为下列步骤:

识别待测的向量测量量以及相关的测定棘爪机构;以及

其中计算向量测量量的所述步骤包括根据相关的测定棘爪机构计算所识别的向量测量量的步骤。

16. 根据权利要求 2 的方法, 其特征在于, 在所述计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤之前为下列步骤:

5 检测电力线路的导电路径上无电压; 以及

其中计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤包括不管电力线路的导电路径上无电压而计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤。

17. 一种测量具有至少两条导电路径的电力线路的电量的方法, 10 包括由电表所执行的下列步骤:

检测电力线路上的线电压信号和线电流信号;

从所检测的线电压和线电流信号为电力线路上所检测的线电压和线电流信号确定正交性区间;

15 以多个相隔预定采样时间间隔的连续采样时间对所检测的线电压和线电流信号进行采样, 从而获得多个线电压样品和线电流样品;

把线电压样品转换成对应的数字线电压样品, 把线电流样品转换成对应的数字线电流样品; 以及

从正交性区间的数字线电压样品和数字线电流样品计算预定的正交性区间的电力线路的向量测量量。

20 18. 根据权利要求 17 的方法, 其特征在于, 在所述计算向量测量量的步骤之前为下列步骤:

从数字线电压样品和数字线电流样品计算对应的数字相电压样品和数字相电流样品, 从而限定电力线路的某一相; 以及

25 其中计算向量测量量的所述步骤包括从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的向量测量量。

19. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的向量测量量的步骤包括下列步骤:

从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的向量表观伏安时。

30 20. 根据权利要求 19 的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的向量表观伏安时的步骤包括下列步骤:

从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的每个确定相所传输的能量;

从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的每个确定相的无功能量;

5 从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的每个确定相的表观伏安时; 以及

从正交性区间的电力线路的确定相的能量、无功能量和表观伏安时计算正交性区间的电力线路的向量表观伏安时。

21. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的向量测定量的步骤包括下列步骤:

10 从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的无功能量。

22. 根据权利要求 21 的方法, 其特征在于, 计算正交性区间的电力线路的每个确定相的无功能量的所述步骤包括为相电压样品和对应的相电流样品所执行的下列步骤:

15 将具有第一传递函数的第一相移滤波器用于数字相电压样品, 从而计算第一相移数字相电压样品;

将具有第二传递函数的第二相移滤波器用于数字相电压样品, 从而计算第二相移数字相电压样品;

20 将具有第一传递函数的第三相移滤波器用于数字相电流样品, 从而计算第一相移数字相电流样品;

将具有第二传递函数的第四相移滤波器用于数字相电流样品, 从而计算第二相移数字相电流样品;

25 将第一相移数字相电压样品乘以第二相移数字相电流样品, 从而计算第一中间功率积样品;

将第二相移数字相电压样品乘以第一相移数字相电流样品, 从而计算第二中间功率积样品;

从正交性区间的第二中间功率积样品和第一中间功率积样品计算正交性区间的电力线路这相的无功能量。

30 23. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的向量测定量的步骤包括下列步骤:

从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的畸变伏安时。

24. 根据权利要求 23 的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的畸变伏安时的步骤包括下列步骤:

5 从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的各确定相所传输的能量;

从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的各确定相的无功能量;

10 从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的各确定相的表观伏安时;

从正交性区间的电力线路的各确定相的能量、无功能量和表观伏安时计算正交性区间的电力线路的畸变伏安时。

25. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的向量测定量的步骤包括下列步骤:

15 从正交性区间的数字相电压样品和数字相电流样品计算正交性区间的电力线路的畸变功率因数。

26. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 所述计算正交性区间的电力线路的向量测定量的步骤包括下列步骤:

20 窄带滤波对应于所检测的线电压的信号的数字线电压样品, 从而获得表示所检测的线电压信号的基频分量的一系列数字基频线电压样品; 以及

计算所检测的线电压信号的基频分量和基频基准信号之间的相位角。

25 27. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 在所述计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤之前为下列步骤:

识别电力线路的电路拓扑; 以及

其中计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤包括根据所识别的电力线路的电路拓扑计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤。

30 28. 根据权利要求 2 的方法, 其特征在于, 还包括下列步骤:

从所计算的数字相电流样品计算电力线路的中性线电流值。

29. 根据权利要求 28 的方法, 其特征在于, 所述计算向量测量量的步骤还包括下列步骤:

将所计算的有效线电压与预定的预期标称工作电压相比较, 从而计算线电压状态。

5 30. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 在所述计算向量测量量的步骤之前为下列步骤:

识别待测的向量测量量; 以及

其中计算向量测量量的所述步骤包括计算所识别的向量测量量的步骤。

10 31. 根据权利要求 18 的方法, 其特征在于, 在所述计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤之前为下列步骤:

检测电力线路的导电路径上无电压; 以及

其中计算数字相电压样品和数字相电流样品的所述步骤包括不管电力线路的导电路径上无电压而计算数字相电压样品和数字相电流样品的步骤。

15 32. 一种测量具有至少两条导电路径的电力线路的电量的向量电表, 所述电表包括:

检测电力线路上的线电压信号的电压传感器;

检测电力线路上的线电流信号的电流传感器;

20 响应所检测的线电压信号和线电流信号, 用以确定所检测的线电压信号和线电流信号的正交性区间的区间确定装置;

用以将所检测的线电压信号和线电流信号转换成数字信号的转换装置; 以及

25 响应所述区间确定装置和所述转换装置, 用以从数字信号计算所确定的正交性区间的电力线路的向量测量量的装置。

33. 根据权利要求 32 的向量电表, 其特征在于, 所述向量计算装置包括用以从数字信号计算相应的数字相电压信号和数字相电流信号、从而限定电力线路的某一相的装置。

30 34. 根据权利要求 33 的向量电表, 其特征在于, 所述向量计算装置包括用以从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的向量表观伏安时的装置。

35. 根据权利要求 34 的向量电表, 其特征在于, 所述向量计算装置还包括用以从所计算的正交性区间的电力线路的表观伏安时计算正交性区间的电力线路的向量表观功率的装置。

5 36. 根据权利要求 33 的向量电表, 其特征在于, 所述向量计算装置包括用以从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的无功能量的装置。

37. 根据权利要求 33 的向量电表, 其特征在于, 所述向量计算装置包括用以从数字相电压信号和数字相电流信号计算正交性区间的电力线路的畸变伏安时的装置。

10 38. 根据权利要求 33 的向量电表, 其特征在于, 所述正交性区间确定装置包括:

用以从相电压信号产生基频基准信号的装置; 以及
响应所述产生装置、用以检测基频基准信号预定数量周期的通过、从而确定正交性区间的装置。

15 39. 根据权利要求 38 的向量电表, 其特征在于, 所述处理装置包括:

对各相电压信号进行滤波、产生相应的基频相电压信号的窄带滤波器; 以及

20 响应所述窄带滤波器、用以线性组合基频相电压信号、产生基频基准信号的线性组合装置。

40. 根据权利要求 33 的向量电表, 其特征在于还包括:

用以识别电力线路的电路拓扑的电路识别装置; 以及

25 其中所述用以计算数字相电压信号和数字相电流信号的装置包括用以根据所识别的电力线路拓扑计算数字相电压信号和数字相电流信号的装置。

41. 根据权利要求 33 的向量电表, 其特征在于: 所述向量计算装置包括用以从所计算的数字相电流信号计算电力线路的中性线电流值的装置。

30 42. 根据权利要求 33 的向量电表, 其特征在于: 所述向量计算装置包括用以从数字信号计算正交性区间的电力线路的某一线路的有效线电压的装置。

43. 根据权利要求42的向量电表, 其特征在于: 所述向量计算装置还包括:

用以从数字信号计算电力线路的线路相位角的装置;

5 响应所述用以计算有效线电压和所述用以计算相位角的装置、用以从多个各有相关的标称相位角的预定标称工作电压中选择接近所计算的有效线电压且相关的标称相位角最接近所计算的相位角的预期标称工作电压的装置。

44. 根据权利要求33的向量电表, 其特征在于: 所述向量计算装置包括:

10 用以识别待测的向量测量量的装置; 以及

响应所述识别装置、用以计算所识别的向量测量量的装置。

45. 根据权利要求33的向量电表, 其特征在于还包括:

用以检测电力线路的导电路径上无电压的装置; 以及

15 其中所述用以计算数字相电压信号和数字相电流信号的装置包括用以不管电力线路的导电路径上无电压而计算数字相电压信号和数字相电流信号的装置。

46. 一种测量具有至少两条导电路径的电力线路的电量的向量电表, 所述电表包括:

检测电力线路上的线电压信号的电压传感器;

20 检测电力线路上的线电流信号的电流传感器;

用以从所检测的线电压信号和线电流信号, 确定电力线路上所检测的线电压信号和线电流信号的正交性区间的区间确定装置;

25 响应所述电压传感器和所述电流传感器、用以在多个相隔预定采样时间间隔的连续采样时间对所检测的线电压信号和线电流信号进行采样、从而获得多个线电压样品和线电流样品的采样装置;

响应所述采样装置、用以将各线电压样品转换成对应的数字线电压样品以及把各线电流样品转换成对应的数字线电流样品的样品转换装置; 以及

30 响应所述区间确定装置和所述样品转换装置, 用以从正交性区间的数字电压样品和数字电流样品计算所确定的正交性区间的电力线路的向量测量量的向量计算装置。

47. 一种测量电力线路的无功功率的方法, 包括下列步骤:

检测电力线路上的电压信号和电流信号;

根据第一相移对电压信号进行相移, 以获得第一相移电压信号;

根据第二相移对电压信号进行相移, 以获得第二相移电压信号;

5 根据第一相移对电流信号进行相移, 以获得第一相移电流信号;

根据第二相移对电流信号进行相移, 以获得第二相移电流信号;

将第一相移电压信号乘以第二相移电流信号, 从而获得第一中间功率积信号;

10 将第二相移电压信号乘以第一相移电流信号, 从而获得第二中间功率积信号; 以及

将第一中间功率积信号和第二中间功率积信号相加, 获得表示预定频率范围内的电力线路的无功功率的输出信号。

48. 一种测量电力线路的无功功率的系统, 包括:

检测电力线路上的电压的电压传感器;

15 检测电力线路上的电流的电流传感器;

响应所述电压传感器、根据第一相移对电压信号进行相移, 以获得第一相移电压信号的第一相移装置;

响应所述电压传感器、根据第二相移对电压信号进行相移, 以获得第二相移电压信号的第二相移装置;

20 响应所述电流传感器、根据第一相移对电流信号进行相移, 以获得第一相移电流信号的第三相移装置;

响应所述电流传感器、根据第二相移对电流信号进行相移, 以获得第二相移电流信号的第四相移装置;

25 响应所述第一相移装置和所述第四相移装置、将第一相移电压信号乘以第二相移电流信号, 以获得第一中间功率积信号的第一乘法器;

响应所述第二相移装置和所述第三相移装置、将第二相移电压信号乘以第一相移电流信号, 以获得第二中间功率积信号的第二乘法器;

30 以及

响应所述第一乘法器和所述第二乘法器、将第一中间功率积信号

和第二中间功率积信号相加，获得表示预定频率范围内的电力线路的无功功率的输出信号的加法器。

49.一种产生频率接近电力线路上的电压和电流信号的基频的基频基准信号的方法，包括下列步骤：

- 5 检测电力线路上的电压信号；
 处理所检测的电压信号，产生至少三种相电压信号；
 对各相电压信号进行窄带滤波，产生相应的基频相电压；和
 线性组合基频相电压信号，产生基频基准信号。

10 50. 一种产生频率接近电力线路上的电压信号的基频分量的频率的基频基准信号的系统，包括：

- 检测电力线路上的电压信号的电压传感器；
 响应所述电压传感器、用以处理所检测的电压信号，产生至少三种相电压信号的装置；
 响应所述处理装置、对各相电压信号进行窄带滤波，产生相应的
15 基频相电压的窄带滤波器；和
 响应所述窄带滤波器、用以线性组合基频相电压信号，产生基频基准信号的线性组合装置。

向量电表及相关的向量电量测量方法

5 本发明涉及电力线路测量，具体地说，涉及为具有多条导电路径的电力线路测量向量电量的设备和方法。

在分配电能时，公共电力公司一般发现测量与向消费者输送电能相关的电量是有利的，这些电量精确地反映了向消费者所送电能的成本，从而在电力系统的所有用户中公平地摊分输送电能的成本。很早以前，公用公司就认识到仅根据所输送的实际电能 - 瓦时的测量向顾客收费不能精确反映向顾客输送电能的成本。例如，大的工业用户可能有电感负载，诸如大的感应电动机等，这些电感负载在电力线路的电压和电流之间引起显著的相移，因此需要由公用公司提前发动机的相角以及进行电容补偿，以保持电压电平，有效地向消费者输送电能，以及维持电力系统的稳定性。这种附加的生产基本设备成本并没有反映在消费者测量点所输送电能的测量值上。

因此，已经开发了其它测量电力的方法。例如，公用公司一般不仅按输送给用户的瓦特时的有功负载能量收费，而且按乏时（即无功伏安时）的无功负载能量及功率因数（ $\cos\theta$ ）收费。通过测量瓦特时和乏时，电力公用公司就能更精确地向那些从输电网络需求最大的有电感负载的消费者摊派输送电能的成本。

在本世纪初人们还认识到电力测量中可能的误差归因于非正弦状态。大约六十年以前，电力系统工程师试图为引起谐波和畸变的电力系统开发总体统一的理论模型。在为 1935 年 AIEE 夏季会议所出版的国家标准局的 Harvey L. Curtis 和 Francis B. Silsbee 的题为“电力及相关量的定义”的论文中描述了这种模型。在 Curtis 和 Silsbee 的论文中的定义是从适用于所有谐波和相的电力的三维向量模型所获得的。经过“IEEE Std100，电力和电子术语标准词典”最新版的出版，这些定义基本上原封不动的保留。

30 在图 19 中例示了电力线路的功率向量的关系。ANSI/IEEE STD 100 电力和电子术语词典把“相量功率” S 定义为正交分量为“有功

功率” P 和“无功功率” Q 的二维功率向量的值。在多于一条导电路径的系统中，即在具有多于一条导电路径的“多相系统”和“单相系统中，对于所有谐波来说，相量功率 S 是系统的有功功率 P 和无功功率 Q 的向量和。正如本领域的技术人员所了解的，如果所有元件都是电阻性的，相量功率 S 就等于有功功率 P。这就是相量功率，具体地说是公用公司传统测量和收费的相量伏安时的一种形式或另一种形式。通常，公用公司利用传统的瓦时计和乏时计测量系统电压的基频的相量伏安时。

“表观功率” U 定义为正交分量为有功功率 P、无功功率 Q 和第三分量（“畸变功率” D）的三维向量功率的值。表观功率和表观伏安时提供了电力线路特性的更加综合的测量。对于隔离的二端子电路来说，表观功率 U 可以看作标量，单导电路径中均方根电压和电流的乘积。然而在具有多于一条导线的系统中，向量表观功率和向量表观伏安时是向量，所有相和谐波的有功、无功和畸变功率分量的向量和。因此，向量表观功率和向量表观伏安时作为实际测量的电量已被基本忽略，这是因为缺少精确测量它们的向量分量的技术。公用公司代之以依靠诸如无功能量和相量伏安时等的另一些测量值，因为这些测量技术和设备容易开发。

传统采样的电子瓦时计通过累加即时功率测量值通常能精确地测量能量。这一般是用下述方式而获得的，对电力线路上的电压和电流采样，把所采样的电压和电流转换成数字值，将数字值相乘而计算出即时功率。把这些采样积累加而获得电力线路所传输的能量的测定值，这对于所有显著的谐波基本上是精确的，假定采样率满足采样理论。如 ANSI/IEEE STD 100-1993 所定义的，二端子电路的表观功率为：

$$U_x = E_{rms} \times I_{rms}$$

式中 E_{rms} 和 I_{rms} 是电路电压和电流的均方根值。这样，把电力线路上的电压和电流看作正弦信号的合成量，通过测量 RMS 电压和电流就可以确定一相电力线路上的所有谐波的表观功率和（或表观伏安

时)。

然而，测量无功能量就比较困难。传统上是用第二个仪表与一般的瓦時計相连或者近年来用具有测量瓦时和乏时的内在能力的仪表完成乏时的测量。一般，测量乏时的技术涉及用相移变换器（模拟仪表中）或时延元件（数字仪表中）把被测线路的电压相移 90° 。这两种方法可能承担由于忽略或未能精确相移电压的所有显著谐波的明显误差。

已经有人提出根据算术表观伏安时的测量方法作为向量表观伏安时的近似法。多相系统的算术表观功率表示各相中每一相的表观功率值的算术和。虽然比较容易计算，但是只有在电力线路的各相平衡和对称的情况下算术表观功率趋向精确近似向量表观功率。甚至在那些情况下，其测量值在电流和电压的波形为非正弦的环境下经常导致不可预料的结果。这些特性往往使算术表观功率成为不适合电气测量的量。

在存在畸变的情况下，传统的电表及测量方法可能不提供向消费者供电的实际成本的精确测量值。增加使用固态切换电动机驱动器，大的开关电源和诸如计算机等的切换负载导致畸变的电流波形，通常伴随着大量相关的畸变功率。畸变功率增加了对公用公司设备的需求及增加了能耗。诸如相量伏安时和算术表观伏安时的测量值不能合理地反映这些相关的成本。

随着输送电能成本的增加，由于采用这些传统测量技术所引起的误差越来越显著。为了成本和向其消费者公平收费的要求所驱使，公用公司越来越需要反映输送电能的真实成本的精确测量方法。然而，为了具有延续性和将替换成本减至最低，新设备和方法应该与传统的仪表接法、传统的测量方式以及供电中所采用的各种电路拓扑相兼容。

鉴于上述情况，因此本发明的一个目的是为测量具有至少两条导电通路的电力线路的电力提供电表和测量方法。

本发明的另一个目的是为精确地测量电力线路的基频的显著谐波的电力提供电表和测量方法。

本发明的又一个目的是提供与传统的电表接法兼容的且能利用

传统的测量方式的电表和测量方法。

本发明的再一个目的是提供适合于各种电力线路的电路拓扑的测量电力的电表和测量方法。

借助用以向量测量电力的电表和测量方法，检测电力线路上的线电压和线电流信号，把检测到的信号转换成数字信号，计算被检测的线电压和线电流在确定的正交性区间的电力线路的向量测量量，而提供这些目的和优点。因此，就可以实现精确地测量向量测量量。计算的相量测量量可以包括向量表观伏安时、向量表观功率、算术表观伏安时、算术表观功率、相量伏安时、畸变伏安时、畸变功率、无功能量、无功功率、能量、有功功率、功率因数和畸变功率因数。利用集成在电表内的结合通用计算机工作的数字信号处理器就能最佳地实施用以计算向量测量量的相量计算装置。

本发明通过精确地向量测量电力，就能精确而公平地测量电量。在被测量的向量电量的组合的基础上，本发明还能提供容许被测顾客付费的灵活、可编程的测量方式。本发明还容易适合不同的供电环境，诸如4线Y形、3线单相、3线 Δ 形等，不需要元件变换或复杂的硬件改型，还有助于电表安装和电力线路维护。

具体地说，用本发明的电表，通过检测电力线路上的线电压和线电流信号就可以实现电量的向量测定。所检测的电压和电流信号的正交性区间是根据所检测的电压信号而确定的。所检测的电压和电流信号被转换成数字信号，利用向量计算装置从数字信号计算出正交性区间的向量测定参数。最好，对应于采样间隔隔开的连续多个采样时间，把所检测的电压和电流信号转换成相应系列的线电压和线电流样品。采样间隔最好是一致的。

在计算向量测量量之前，可以从数字信号计算出数字相电压（Phase-to-neutral voltage）信号和相应的相电流信号，因而就限定了电力线路相对于其实际或输入中性线的某一相。最好，数字相电压信号包括一系列数字相电压样品，数字相电流包括一系列数字相电流样品，每个样品对应于相应的数字线电压样品或数字线电流样品的采样时间。

最好借助检测接近电力线路上的电压和电流的基波分量的频率

的基频基准信号预定整数周期的通过而确定正交性区间。最好，正交性区间表示标称的 60Hz 电力系统的基频基准信号的 60 个周期，或者表示标称的 50Hz 电力系统的基频基准信号的 50 个周期。最好通过窄带滤波所计算的相电压信号而确定正交性区间，产生对应的基频相电压信号。这些基频信号可以线性组合，产生基频基准信号。

5

根据本发明的一个方面，计算正交性区间的向量测量量包括计算向量表观伏安时。能量、无功能量和表观伏安时是为正交性区间的每相电力线路进行计算的。从算出的能量、无功能量和表观伏安时计算正交性区间的向量表观伏安时。可以从这些量计算电力线路各相的畸变伏安时。如本领域的技术人员所了解的，通过计算正交性区间的能量、无功能量和畸变伏安时，算出的能量、无功能量和畸变伏安时精确地表示电力线路的向量分量。对这些分量可以进行向量代数运算，以获得在正交性区间期间的电力线路的向量表观伏安时的精确测量值。

10

15

最好通过将无功功率滤波器用于数字相电压信号和数字相电流信号而计算出无功能量。这种滤波器最好包括在向量计算装置中所实施的数字滤波器。无功功率滤波器最好包括能产生两种相移中间功率积信号的多个相移滤波器和乘法器，这两种信号相加，产生精密接近预定频率范围内的电力线路所有谐波的无功能量的输出信号。

20

根据本发明的另一个方面，从算出的能量、无功能量、畸变伏安时和向量表观伏安时为电力线路计算有功、无功、畸变和向量表观功率。最好通过将算出的正交性区间的能量、无功能量、畸变或向量表观伏安时除以在的区间内所发生的采样次数，而计算出这些向量量，以获得相应的功率量。还可以从算出的所述区间期间每相的能量、无功能量和表观伏安时而计算出功率因数和畸变功率因数。

25

在本发明的又一个方面，从算出的数字相电流信号计算电力线路的中性线电流值。通过将算出的中性线电流值与表示不可接受的相位不平衡或其它维护状况的预定阈值相比较，可以计算中性线电流的状态。类似地，通过将算出的实际线电压与预期的标称工作电压相比较就可以计算线电压状态。

30

采用徙动的十抽一技术还可以计算与检测的线电压信号的基频

分量相关的相位角。在基频基准信号的一系列连续周期内选择数字线电压信号的窄带滤波形式的样品，以获得一组徙动十抽一样品。这些样品最好选择成使得第一选择的徙动十抽一样品与基频基准信号的第一零交叉点一致。下一个选择的徙动十抽一样品是从取出前一个样品的基频基准信号波形的点起延迟预定徙动十抽一区间的基频基准信号的下一个周期中所选出的。从后续的区间类似地采样，因此获得接近数字电压信号的一个周期的一组徙动十抽一样品。傅里叶分析用于这些徙动十抽一样品，用以计算出相对于基准信号的线电压信号的基频分量的相位角。这样就提供了可用于仪表安装和维护及其它任务的线电压相位角的精确测量。

在本发明的另一个方面中，正交性区间的测量可以在所考虑的周期内为最小和最大值积累地记录、分析，经受用于收费和其它目的的其它分析。根据相关的棘爪机构（detent）可以计算所识别的测量。不管所检测的线电压的损失，也能计算向量测量量，这样就提供了在变压器或其它组件发生故障时估算功率的装置。

因此，提供了能精确测量向量测量量的用以向量测定电量的向量电表和方法。这些仪表和方法保证测定精确和公平地反映向顾客所输送的能量的成本的电力。这些仪表和方法还适用于各种电力线路的电路拓扑，而且与传统的仪表接法和形式相兼容。

图 1 是例示本发明的向量电表的示意图。

图 2 是例示本发明的装在电表壳内的向量电表的简化方框图。

图 3A 是例示本发明的向量电表的工作原理的方框图。

图 3B 是例示本发明的检测的线电压和电流信号如何转换成数字样品的方框图。

图 4 是例示本发明的向量电表的工作原理的方框图。

图 5 是例示本发明如何确定正交性区间的方框图。

图 6 是例示本发明如何从检测的线电压和电流信号计算向量测量量的方框图。

图 7 是例示本发明用以计算相电压信号和相电流信号以限定电流线路某一相的运算的方框图。

图 8 是例示根据所指明的电路拓扑计算向量测量量的方框图。

图9是例示本发明根据所指明的电路拓扑计算相电压样品和相电流样品的典型运算表。

图10是例示本发明计算正交性区间期间每相的能量的各运算的方框图。

5 图11是例示本发明计算正交性区间期间每相的表观伏安时的各运算的方框图。

图12A是例示本发明的无功功率滤波器的方框图。

图12B是例示本发明的无功功率滤波器的传递函数的图象。

10 图13是例示本发明计算正交性区间的每相的无功能量的各运算的方框图。

图14是例示本发明计算正交性区间期间的电力线路的向量表观伏安时的各运算的方框图。

图15A是例示本发明计算线电压相位角的各运算的方框图。

图15B是例示本发明对相位角的计算进行十抽一采样的方框图。

15 图16A是例示本发明计算期望的标称线电压的各运算的方框图。

图16B是例示本发明计算有效线电压的各运算的方框图。

图17是例示本发明计算线电压状态的各运算的方框图。

20 图18是例示本发明计算中性线电流值和中性线电流状态的各运算的方框图。

图19是例示功率向量关系的图象。

现在就参照示出了本发明最佳实施例的附图在下文中更详细地描述本发明。然而，本发明可以用许多不同的形式实施，不应该把本发明看作仅限于所述的这些实施例，而提供这些实施例是使得这种公开内容是充分和完整的，以及向本领域的技术人员充分地传递了本发
25 明的范围。全文中相同的标号涉及相同的元件。

图6-7, 10-11, 13, 15A以及16A-18是本发明的方法和系统的流程图。要理解的是流程图的每个方框以及流程图的方框组合可以由计算机程序指令予以实施。这些计算机程序指令可以装载在计算机或其它可编程设备上，形成一种机器，使得在计算机或其它
30 可编程设备上执行的指令创造出用以执行流程图方框中所规定的功能

的手段。这些计算机程序指令也可以存储在计算机的可读存储器内，能指示计算机或其它可编程设备以特定方式起作用，使得存储在计算机可读存储器中的计算机程序指令生产一种产品，包括实施流程图方框中所规定的功能的指令装置。计算机程序指令也可以装载在计算机或其它可编程设备上，使一系列运算步骤在计算机或其它可编程设备上进行，产生一种计算机实施的方法，使得在计算机或其它可编程设备上执行的指令提供用以实施流程图方框中所规定的功能的步骤。

因此，流程图的方框支持用以执行规定的功能的装置的组合和用以执行规定的功能的步骤的组合。还要理解的是可以以专用硬件为基础的计算机系统或者专用硬件和计算机指令的组合实施流程图的每个方框以及流程图的方框的组合，这些计算机执行规定的功能和步骤。

向量电表

图 1 和 2 例示本发明的向量电表。电压传感器 110 和电流传感器 120 检测电力线路上的电压和电流信号，且把所检测的电压和电流 315 输入转换装置 320。诸如模数转换器 (A/D) 等的转换装置 320 可以包括信号处理电路及采样装置，信号处理电路排除所检测的电压和电流 315 中的直流分量，补偿由传感装置等所引起的相移，采样装置则采样所检测的电压和电流，以获得数字信号 325。

数字信号 325 输入图 1 中所示的向量计算装置 330，向量计算装置包括在数字信号处理器 130、微计算机 140 和程序/数据存储单元 150 上运行的计算机程序。最好数字信号处理器 (DSP) 130 在微计算机 140 的控制下根据数字信号 325 进行向量功率计算。数字信号处理器 130 最好是一种高速处理装置，具有快速进行重复计算的高度并行的体系结构。数字信号处理器的实例是 Texas Instruments Corporation 的 TMS320x 行的数字信号处理器的装置。除了控制数字信号处理器 130 之外，微计算机 140 还可以控制其它的外围设备，诸如显示器 160 或通信接口 170。本领域的技术人员都会理解可以采用包括其它数字信号处理装置或通用处理器的硬件和软件的各种组合实施计算装置

330。

如图 2 中所示, 传感装载 310、转换装置 320 和向量计算装置 330 最好集成在标准型电表 200 内。电表 200 可以包括 LCD 显示器 160 和光学端口 170, 用以将测量数据与数据记录仪或其它设备进行通信。电表 200 可以直接与直接用于低压、低功率设备的电力线路 210 的导线 220A - C 相连接, 或者可以通过采用电压和电流互感器进行缓冲, 这是本领域的技术人员所周知的。

向量电量测量综观

10

本领域的技术人员都知道具有多于一条导电路径的电流线路的向量表观功率 (或向量伏安时) 可以通过首先确定其三个正交分量: 有功功率 (或能量)、无功功率 (或无功能量) 及时变功率 (或时变伏安时) 而予以确定。在向量项中:

15

$$\vec{U} = \vec{P} + \vec{Q} + \vec{D}$$

以及

20

$$|\vec{U}| = \sqrt{|\vec{P}|^2 + |\vec{Q}|^2 + |\vec{D}|^2}$$

在本发明的向量电表中, 这些分量是在电力线路的周期性电压和电流的正弦分量的正交性区间予以计算的。

25

本领域的技术人员都理解 n 维向量 y 可以表示为基本向量 x_1, x_2, \dots, x_n 之和:

$$y = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

如果基本向量是正交的, 基本向量的内积等于零:

30

$$\langle x_i, x_j \rangle = 0, \quad i \neq j$$

随着公式 (1) 的两侧形成基本向量 x_i 的内积, 就产生:

$$5 \quad \langle y, x_i \rangle = c_1 \langle x_1, x_i \rangle + c_2 \langle x_2, x_i \rangle + \dots + c_n \langle x_m, x_i \rangle = c_i \langle x_i, x_i \rangle,$$

式中

$$10 \quad c_i = \frac{\langle y, x_i \rangle}{\langle x_i, x_i \rangle}$$

这样, 由于能简易地算出坐标 c_i , 就能采用正交的基本原理方便地表达向量。

正交性和内积之间的关系通常适用于函数。两个函数的内积可以定义为某个区间上的积分:

15

$$\langle g_i(t), g_j(t) \rangle = \int_{t_1}^{t_2} g_i(t) g_j^*(t) dt.$$

正如基本向量一样, 如果两个函数是正交的, 它们的内积为零:

20

$$\langle g_i(t), g_j(t) \rangle = 0, \quad i \neq j.$$

区间 (t_1, t_2) 是函数 $g_1(t)$ 和 $g_2(t)$ 的正交性区间。函数可以表达为在正交性区间 (t_1, t_2) 上正交函数之和:

25

$$f(t) = c_1 g_1(t) + c_2 g_2(t) + \dots + c_n g_n(t)$$

因此, 利用“向量代数”可以确定表示为正交性区间内的正交函数之和的函数。

30

为了用电力线路每相的能量、无功能量和表观伏安时的测定值精确地进行向量代数运算, 最好测量正交性区间内的这些向量测定分

量,使得这些向量测定分量是向量表观伏安时的精确表达式,即电压和电流的内积为零。对于电压和电流包含正弦基频分量及其多谐波的电力线路,所有正弦电压和电流的正交性区间是基频分量的整数倍周期。

5 在解释了为何最好要在正交性区间内计算向量测定分量之后,现在就说明根据本发明的向量测量的运算。图 3A 是例示本发明的向量测量的基本运算的方框图。利用电压传感器 110 和电流传感器 120 检测电力线路上的线电压和线电流信号。在转换装置内,检测的线电压和线电流信号 315 被转换成数字信号 325。数字信号 325 则输入向量
10 计算装置 330,向量计算装置 330 根据数字信号 325 计算向量测量量。

如图 3B 中所示,在转换装置 320 中,最好以一系列数字线电压样品 326 和线电流样品 327 的形式产生数字信号 325。在采样装置 321 中以预定的采样间隔采样检测的电压和电流信号 315,产生多个
15 线电压和电流样品 322。在样品转换装置 323 中,电压和电流样品被转换成相应的一系列数字线电压样品 326 和数字线电流样品 327。本领域的技术人员都会理解,为了精确地计算从 60Hz 基频直至基波的二十三次谐波、即 1380Hz 的电力线路向量测量量,采样率必须大于每秒 2760 个样品。最好,数字线电压样品 326 和数字线电流样品 327 表示以每秒 3900 个样品的采样率、或大约 26 微秒的采样间隔所采的
20 样品。

根据本发明,图 1 的向量计算装置 330 和图 3A 的向量计算的运算 330 可以将检测的向量电压和电流信号 315 分解成等效的三相电量。如图 7 中所示,最好在方框 700 中限定电力线路的各相,其方法是在方框 710 取得数字线电压样品 e_k 相应的数字线电流样品 i_k ,在方
25 框 720 计算数字相电压样品,以及在方框 730 计算数字相电流样品。

方框 720 和 730 的计算取决于电路线路的电路拓扑。如图 8 中所示,配置了用以识别电路拓扑的电路识别装置 810,根据指明的电路拓扑,向量计算装置 330 进行数字相电压信号和数字相电流信号的相应计算。本领域的技术人员会理解,电路识别装置 810 可以包括存储
30 元件、选择电阻器、DIP 切换设定装置等。在图 9 的表中例示了图 3B 的向量计算装置对于不同电路拓扑的示范性计算。这张表的 V_a 、 V_b

和 V_c 表示数字线电压样品 326, I_a 、 I_b 和 I_c 表示相应的数字线电流样品 327, 而 V_{ao} 、 V_{bo} 和 V_{co} 表示相应计算的数字相电压样品, I_{ao} 、 I_{bo} 和 I_{co} 表示相应计算的数字相电流样品。

5 图 4 例示图 1 和 3A 的向量电表, 添加了用以确定电力线路上的电压和电流信号的正交性区间的区间确定装置 420。如上所述, 在电力线路的电压和电流信号的正交性区间内进行向量功率的计算。向量计算装置 330 可以计算由区间确定装置 420 所确定的正交性区间的向量测量量。

10 图 5 例示利用向量计算装置 330 从所检测的电压和电流信号 315 确定正交性区间的运算。产生频率大约相当于所检测的线电压和线电流信号 315 的基频的基频基准信号 535。为了产生基频基准信号 535, 在产生装置 510 中, 从所检测的线电压信号 315 产生限定电力线路某一相的相电压信号 715。各相的数字相电压信号输入窄带滤波器 520, 窄带滤波器 520 通带的中心最好大约在电力线路的标称基频, 以产生基频电压信号 525。

15 所产生的基频电压信号 525 在执行信号的加权组合的线性组合装置 530 中组合起来。最好第一基频电压信号的比例为大约 1/2, 第二基频电压信号的比例大约为 1/4, 第三基频电压信号的比例大约为 1/8, 这些比例信号相加产生基频基准信号 535。所获得的信号具有大约与基频电压信号 525 的基频相同的基频, 即使基频电压信号的其中之一不存在, 例如在测量一个线电压失去的三相电力线路或三线单相电力线路的情况下, 所获得的信号仍然存在。

25 对于以基频及其多谐波为特征的电力线路, 电力线路的电压和电流的正交性的公共区间是一个相当于最低频率分量的整数周期、即基频的整数区间。因此, 可以由检测数字基频基准信号 535 的预定数量的周期通过的检测装置 540 确定电力线路的正交性区间。最好用来确定正交性区间的基频基准信号 535 的预定数量周期能提供足够长的区间, 容许每个区间的计算在后续区间的计算开始之前完成, 而不使区间长得使向量计算装置 330 中所进行的各种累计溢出。一般, 对于标称频率为 60Hz 的电力线路, 基频基准信号 535 的 60 周即标称一秒限定本发明的正交性区间。类似地, 对于标称 50Hz 电力线路, 基频基

30

准信号 535 的 50 周限定正交性区间。然而，本领域的技术人员会理解，本发明可以采用基频基准信号 535 的其它整数周期。

本领域的技术人员会理解产生装置 510、窄带滤波器 520、线性组合装置 530 和检测装置 540 的功能可以与向量计算装置 330 结合起来，例如结合在图 1 的数字信号处理器 130 中。本领域的技术人员还会理解这些器件也可以单独地在模拟电路、数字电路及其组合中实施。例如，产生装置 510 可以包括电阻网络，窄带滤波器 520 可以包括模拟带通滤波器，线性组合装置 530 可以包括模拟算术电路，检测装置 540 则可以包括模拟零交叉检测器及相关的计数器，后者向向量计算装置 330 提供中断或其它信号，以表示正交性区间。

计算与功率有关的向量测量

在描述了向量电表及其基本工作原理之后，这一部分说明图 1 和图 3A 的向量计算装置 330 中各种与功率有关的向量测量的计算。作为计算与功率有关的向量测量的一个例子，图 6 例示用以从正交性区间期间为各相电力所计算的能量、无功能量、和表观伏安时计算正交性区间的向量表观功率的运算。图 10、11、13 和 14 分别例示用以计算区间期间电力线路每相能量、每相无功能量、每相表观伏安时以及向量表观伏安时的详细运算。图 12A - 12B 例示本发明的用以计算每相无功能量的无功功率滤波器，以及在向量滤波器 330 中实施无功滤波器的工作情况。

参照图 6，在方框 610、620、630 中分别为正交性区间计算每相能量、每相无功能量和每相表观安时。在方框 640 中从所计算的各相能量、无功能量和表观伏安时计算该区间的电力线路的向量表观伏安时。一般，畸变伏安时是从所计算的每相能量、无功能量和表观伏安时予以计算的：

$$\text{畸变 } VAh = \sqrt{(\text{表观 } VAh)^2 - (\text{能量})^2 - (\text{无功能量})^2}$$

30

通过将所计算的每相能量、无功能量和畸变伏安时相加就可以计

算出区间期间电力线路的能量、无功能量和畸变伏安时。从所计算的
能量、无功能量和畸变伏安时就可以计算区间期间电力线路的向量表
观伏安时。然而，本领域的技术人员会理解，虽然这些计算可以个别
地进行，但是，它们也可以组合成复合计算。

5 图 10 例示根据本发明(方框 1000)计算正交性区间的每相能量的
运算。在方框 1020 中，将在方框 1010 中所获得的数字相电压样品
 e_k 乘以相应的数字相电流样品 i_k 。在方框 1030 中累加各采样时间的电
压和电流样品之积。在方框 1040 在正交性区间结束之后，在方框 1050
10 中，将累加的电压和电流之积乘以样品数量 N_s 和采样时间间隔 T_s ，
以计算出正交性区间期间电力线路所传输的能量。

图 11 例示根据本发明(方框 1100)计算每相表观伏安时的运算。
在方框 1120 中，将在方框 1110 中所获得的数字相电压样品 e_k 予以平
方，将所获得的乘积在方框 1140 中与以前平方的数字相电压样品之和
相加。类似地，在方框 1130 中，将在方框 1110 中所获得的数字相电
15 流样品 i_k 予以平方，所获得的乘积在方框 1150 中累加。在方框 1160
在区间结束之后，在方框 1170 中将区间的每相的累加的平方数字相电
压样品和累加的平方数字相电流样品乘以样品数量 N_s 和采样时间间
隔 T_s 乘积的平方，以产生相当于正交性区间期间这相的表观伏安时平
方的量。在方框 1180 中，通过取这个积的平方根计算出这个区间期间
20 这相的表观伏安时。

图 12A 例示根据本发明用以计算无功功率的无功功率滤波器
1210。本领域的技术人员会理解，对于所有显著的谐波，为了用相电
压信号乘以相应的相电流信号的相移形式精确地测量某一相的无功功
率，相电压信号必须对所有这些谐波相等地相移。传统的乏時計一般
25 不能获得这种一致的相移，通常只能精确地相移基频和某些其它频率
的分量。

根据本发明通过将相电压信号 E 和相电流信号 I 输入无功功率滤
波器 1210，对于所需的频带能获得一致的相移。第一相移滤波器 H_1
和第三相移滤波器 H_3 最好是产生第一相移 δ_1 的递归式数字滤波器。类
30 似地，第二相移滤波器 H_2 和第四相移滤波器 H_4 同样最好是产生第二
相移 δ_2 的递归式数字滤波器。这些滤波器各自的输出如图所示的相乘

且相加，产生输出信号 Q' ，它表示无功功率 Q 和频率函数之积：

$$e(t) \Rightarrow E \angle \alpha;$$

$$5 \quad i(t) \Rightarrow I \angle \beta;$$

$$H_1(f) = H_3(f) = G_1 \angle \delta_1;$$

$$H_2(f) = H_4(f) = G_2 \angle \delta_2;$$

10

$$A = G_1 G_2 [EI \cos(\beta - \alpha) \cos(\delta_2 - \delta_1) - EI \sin(\beta - \alpha) \sin(\delta_2 - \delta_1)];$$

$$A = G_1 G_2 [P \cos(\delta_1 - \delta_2) - Q \sin(\delta_1 - \delta_2)];$$

15

$$B = G_1 G_2 [EI \cos(\beta - \alpha) \cos(\delta_1 - \delta_2) - EI \sin(\beta - \alpha) \sin(\delta_1 - \delta_2)];$$

$$B = G_1 G_2 [P \cos(\delta_1 - \delta_2) + Q \sin(\delta_1 - \delta_2)];$$

以及

20

$$Q' = GB - GA = 2GG_1G_2 \sin(\delta_1 - \delta_2)Q。$$

本领域的技术人员会理解，如果 G_1 、 G_2 和 G 为 1，结果就简化为：

25

$$Q' = 2 \sin(\delta_1 - \delta_2)Q$$

或者

30

$$Q' = g(f)Q。$$

图 12B 中示出了函数 $g(f)/2$ 的转移特性。相移滤波器 H_1 、 H_2 、 H_3 和 H_4 的传递函数选成使得频带 Δf 内的相位差精密近似 90° ，从而使相位差 $\delta_1 - \delta_2$ 的正弦接近 1，使滤波器的输出 Q' 精密近似频率范围内的无功功率。最好， Δf 跨越最好直至且包括 23 次谐波在内的相电压和相电流信号的基频的主要谐波的范围。可以将输出 Q' 积分，以获得无功能量的精确测量值。

本领域的技术人员会理解无功功率滤波器 1210 可以利用模拟电路、专用数字电路或者通过在通用处理器上运行的软件予以实施。图 13 例示用以实施图 12A 的无功功率滤波器 1210 的运算，这些运算可以在图 3A 的的向量计算装置 330 中进行（方框 1300）。第一相移滤波器适用于在方框 1305 中所获得的数字相电压样品 e_k ，用以在方框 1310 计算第一数字相电压样品 e_k' 。第二相移滤波器也适用于数字相电压样品 e_k ，用以在方框 1315 计算第二相移数字相电压样品 e_k'' 。类似地，传递函数与第一相移滤波器相同的第三相移滤波器适用于在方框 1305 中所获得的对应的数字相电流样品 i_k ，用以在方框 1320 计算第一相移数字相电流样品 i_k' 。传递函数与第二相移滤波器相同的第四相移滤波器也适用于数字相电流样品 i_k ，用以在方框 1325 计算第二相移数字相电流样品 i_k'' 。

第二相移数字相电压样品乘以第一相移相电流样品，用以在方框 1330 中计算第一中间功率样品 q_k' ，第一相移数字相电压样品则乘以第二相移相电流样品，用以在方框 1335 中计算第二中间功率样品 q_k'' 。从第一中间功率样品减去第二中间功率样品，用以在方框 1340 计算无功功率样品 q_k 。在方框 1345 中累加无功功率样品。在方框 1350 在区间结束时，在方框 1355 中，累加的无功功率样品乘以样品数 N_s 和采样时间间隔 T_s ，计算在这个区间期间这相的无功能量。

图 14 详细地例示从电路线路各相的计算出的能量、无功能量和表观伏安时计算向量表观伏安时的运算（方框 1400）。在方框 1410 在正交区间结束时，在方框 1420 中，电路线路各确定相的累加能量和无功能量作为向量从这个区间的这相表观伏安时减去。用以计算这个区间内这相的畸变伏安时。通过在方框 1430、1440 和 1450 分别将电力向量所有相的这些量的计算值相加就计算出电力线路的能量、无功

能量和畸变伏安时。在方框 1460 计算线路表观伏安时，作为能量、无功能量和畸变伏安时的平方和的平方根。

5 根据本发明，用图 3A 中的向量计算装置 330 所计算的向量测量量可以包括能量、无功能量、畸变功率、和以及相应的每一相测量量。本领域的技术人员会理解，从各种测量量的比值还可以计算出各种功率因数，例如畸变功率因数等。

10 向量计算装置 330 还可以计算相关的功率量。向量计算装置 330 最好存储在正交区间期间所采样品的数量，从而提供区间长度的测定。通过将计算的向量表观伏安时除以区间的长度，就可以从计算的正交性区间的向量表观伏安时计算出向量表观功率。类似地，通过将计算的能量除以区间长度就可以从计算的区间的能量计算出有功功率，通过将计算的无功能量除以区间长度就可以从计算的无功能量计算出无功功率。

15 本领域的技术人员会理解在向量计算装置 330 中计算向量测量量不限于所例示实施例的计算步骤。例如根据本发明，不用先计算向量表观伏安时，而是通过先从电力线路各相的能量、无功能量和表观伏安时计算正交性区间的有功、无功和畸变功率，然后求出这些分量的向量和，就可以计算出向量表观功率。通过将计算出的正交性区间的向量表观功率乘以区间内的样品数量就可以从向量表观功率计算出向量表观伏安时。

20 公用电力公司经常根据能量加诸如无功能量或相量伏安时等的附加量向它们的顾客收费。一般，“棘爪机构”也用于这些量的测定，例如，公用公司可以选择只对所输送的能量、对所输送和收到的能量、滞后的无功能量等收费。向量计算装置 330 可以计算待测的识别向量测量量。例如由测量技工通过图 1 中所示的通信接口 170 识别测量量就可以为向量计算装置 330 所识别。本领域的技术人员会理解识别量可以包括相关的棘爪机构，诸如只有超前的无功能量、收到的和传输的能量等。

30 计算其它的向量测量量

图 3A 中所示的向量计算装置 330 还可以计算对电力系统安全和

维护、仪表安装等有用的其它向量测量，诸如相位角、有效线电压、预期的标称工作电压、线电压状态、中性线电流值和中性线电流状态。图 15A - 15B 例示计算相对于图 5 的基频基准信号 535 的所检测的线电压 315 的相位角运算。图 16A - B 例示计算有效线电压和预期的标称工作电压的运算。图 17 例示用所计算的有效线电压计算线电压状态的运算。最后，图 18 例示计算中性线电流值和中性线电流状态的运算。

图 15A - 15B 例示相对于基频基准信号 535 (见图 5) 确定所检测的线电压 315 的相位角运算。在方框 1510 中所获得的数字线电压样品在方框 1520 中进行窄带滤波，计算出一系列表示所检测的线电压信号的基频分量信号的数字基频线电压样品。在方框 1530 中以从基频基准信号 535 的一系列周期中各取一个的方式选择一组徙动的十抽一数字线电压样品。

尤其是如图 15B 中所示，各徙动的十抽一样品选择成使得它来自相对于基频基准信号 535 从前一个十抽一样品延迟预定的十抽一区间 N_1 的采样时间。最好，第一个十抽一样品 e_{d1} 是正交性区间开始后，即图 18B 中所示的基频基准信号 535 的第一零交叉点后的第一样品。下一个十抽一样品 e_{d2} 是从选择前一个样品 e_{d1} 的基频基准信号 535 的波形上的点起延迟十抽一区间 N_1 的基频基准信号 535 的下一个周期期间所采样品中选取的。

最好，十抽一区间 N_1 是使得在正交性区间所选出的这组样品近似表示所检测的线电压信号 315 的基频分量信号的周期。对于以每秒 3900 个样品采样的 60Hz 电力线路，例如一个周期中大约采 65 个样品。如果从基频基准信号 535 的连续周期中选择徙动的十抽一样品，使得每个样品相对于基频基准信号从前一个样品延迟 13 个样品的十抽一区间 N_1 ，在基频基准信号 535 的 60 个周期的时间间隔期间就可以选择一组 5 个十抽一样品，从而接近所检测的线电压 315 的基频分量信号的周期。对于相同采样率和十抽一区间 N_1 的 50Hz 系统，其波形可以用 6 个样品表示。

线电压的基波分量的相位角可以在方框 1540 的正交性区间之后在方框 1550 中用傅里叶分析进行计算。本领域的技术人员会理解：

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{E_c}{E_s}\right)$$

式中

5

$$E_c = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} e_{dk} \cos \frac{2\pi k N_c N_1 N_s}{F_s^2}$$

以及

10

$$E_s = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} e_{dk} \sin \frac{2\pi k N_c N_1 N_s}{F_s^2}$$

15 分别是根据M个徙动的十抽一样品所监测的线电压信号315的基频分量信号的傅里叶级数表达式的余弦和正弦项。对于这些公式， N_s 是在正交性区间期间所采样品的数量， N_c 是电力线路的标称基频（50或60Hz）， N_1 是十抽一区间， f_s 则是采样频率。

20 图1和3A的向量计算装置330还可以从所检测的线电压信号315计算电力线路的有效线电压和预期标称工作电压，以及根据所计算的预期标称工作电压监视所检测的线电压信号315。在图16A（方框1600）中例示计算预期标称工作电压的运算。最好在向量计算装置330初始化过程中或不久之后在方框1610计算正交性区间内的所检测的线电压信号315的有效电压。此外，最好在初始化过程中或不久之后在方框1500还可以计算线电压的相位角。在方框1620中，根据所计算的
25 有效电压和所计算的相位角从预定的标称工作电压1630选择预期的标称工作电压。最好，所选出的预期标称工作电压是最接近所计算的有效电压的预定标称工作电压1630。预定标称工作电压1630最

好包括诸如 120 伏、240 伏、277 伏等的标准线电压。

也可以根据所计算的相位角计算预期标称工作电压。例如，被计算的有效电压近乎相等的落在诸如 240 伏和 277 伏的两个预定标称工作电压之间，这些预定标称工作电压一般分别对应于三线单相供电和三相四线星形供电。本领域的技术人员会理解，这两种电力拓扑可以用线电压之间不同的相位角来区分，即 277 伏供电的线电压一般相隔 120 度标称相位角，240 伏供电的线电压一般相隔 60 度标称相位角。通过选择相位角特征最接近所计算的相位角的预定标称工作电压向量计算装置 330 就可以计算预期标称工作电压。

图 16B 详细例示出计算有效线电压（方框 1610）的运算。在分量 1611 中所获得的线电压样品在方框 1612 中进行窄带滤波，滤波后的样品在方框 1613 中予以平方，平方后的样品在方框 1614 中累加。在方框 1615 在区间结束之后，在方框 1616 通过将累加的平方的数字线电压样品除以样品数量 N_s 和采样时间间隔 T_s 的乘积，然后取其平方根，就可以计算出区间期间的有效电压。

现在参阅图 17，所计算的预期标称线电压可以用来计算线电压状态（方框 1700）。在方框 1710 中计算有效线电压。所计算的线电压状态根据预定的容差 1740 与预期标称工作电压加以比较，在方框 1720 中计算线电压状态。本领域的技术人员会理解，虽然所计算的状态最好与电力线路的过电压和欠电压状况有关，但是也可以计算其它的线电压状态，诸如相对于预期标称工作电压的所计算的有效电压的统计偏差。还会理解的是，例如通过图 1 中的通信接口 170 或显示器 160 所计算的状态可以从向量计算装置 330 向用户、开关设备控制系统等进行通信，用于保养、断电和其它目的。还会理解的是，可以在每个正交性区间或其它的预定时间间隔计算有效线电压和线电压状态。

现在参阅图 18，向量计算装置 330 还可以从所计算的数字相电流样品计算和监测中性线电流值（方框 1800）。在方框 1810 中所获得的各相的数字相电流样品在方框 1820 中相加，其和在方框 1830 中予以平方。通过在方框 1830 中取平方和的平方根就可以计算出中性线电流值。通过将所计算的中性线电流值与预定阈值 1842 加以比较，就

可以在方框 1840 计算出中性线电流状态。本领域的技术人员会理解，所计算的状态可以与用户、开关设备控制系统等进行通信，用于保养、断电和其它目的。还会理解的是，可以在每个采样时间、每个正交性区间、或其它预定时间间隔计算中性线电流值和状态。

- 5 在附图和说明书中已经公开了本发明的若干个典型的最佳实施例，尽管采用了一些特定的术语，但是它们只是用于一般的说明，而不是用于限制的目的。在后文的权利要求书中记述了本发明的范围。

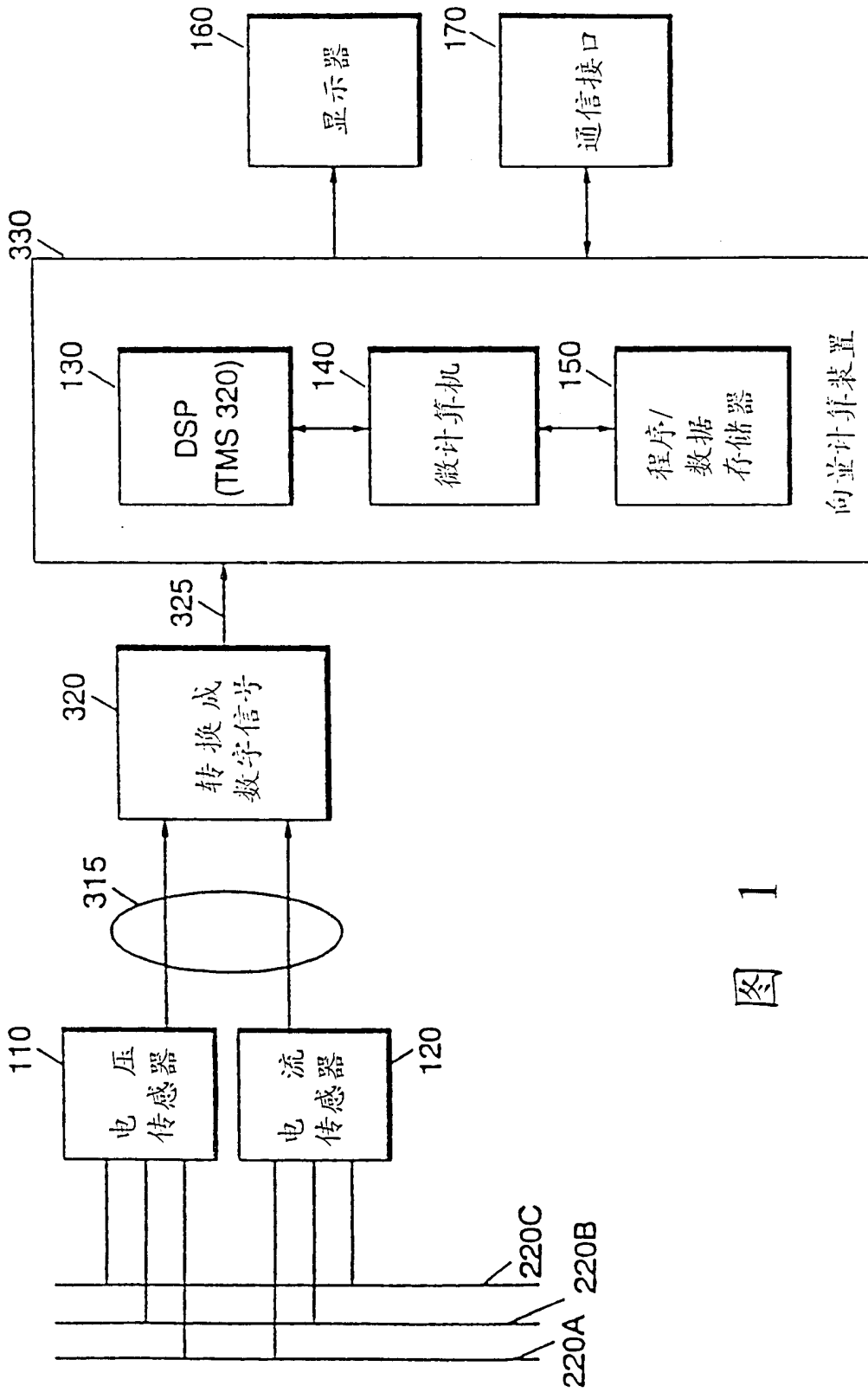


图 1

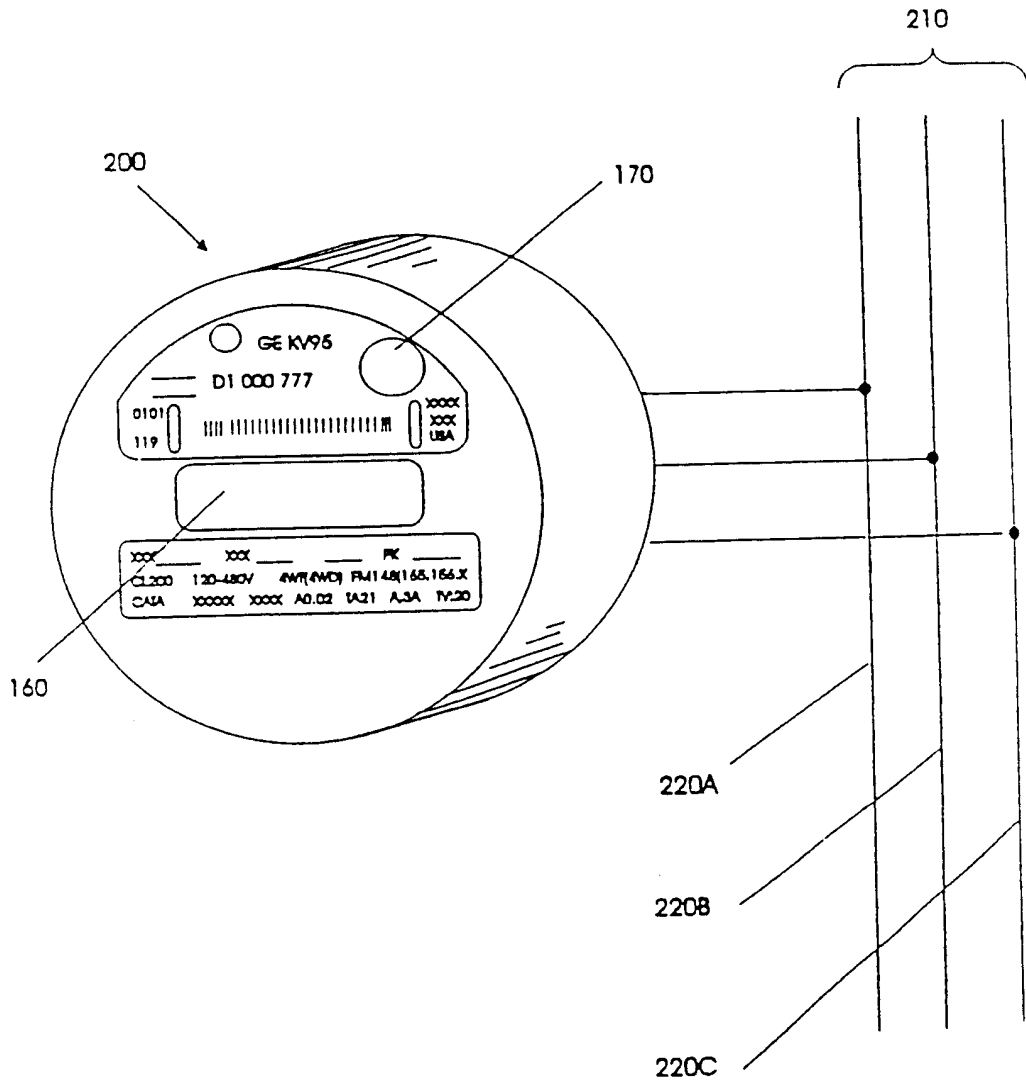


图 2

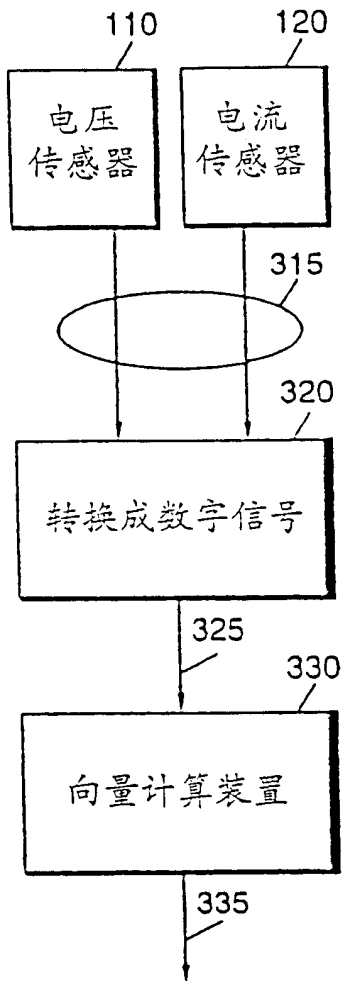


图 3A

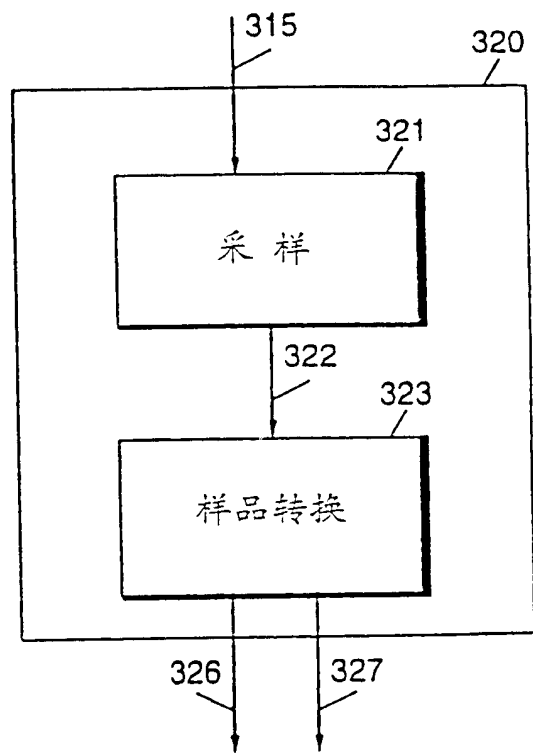


图 3B

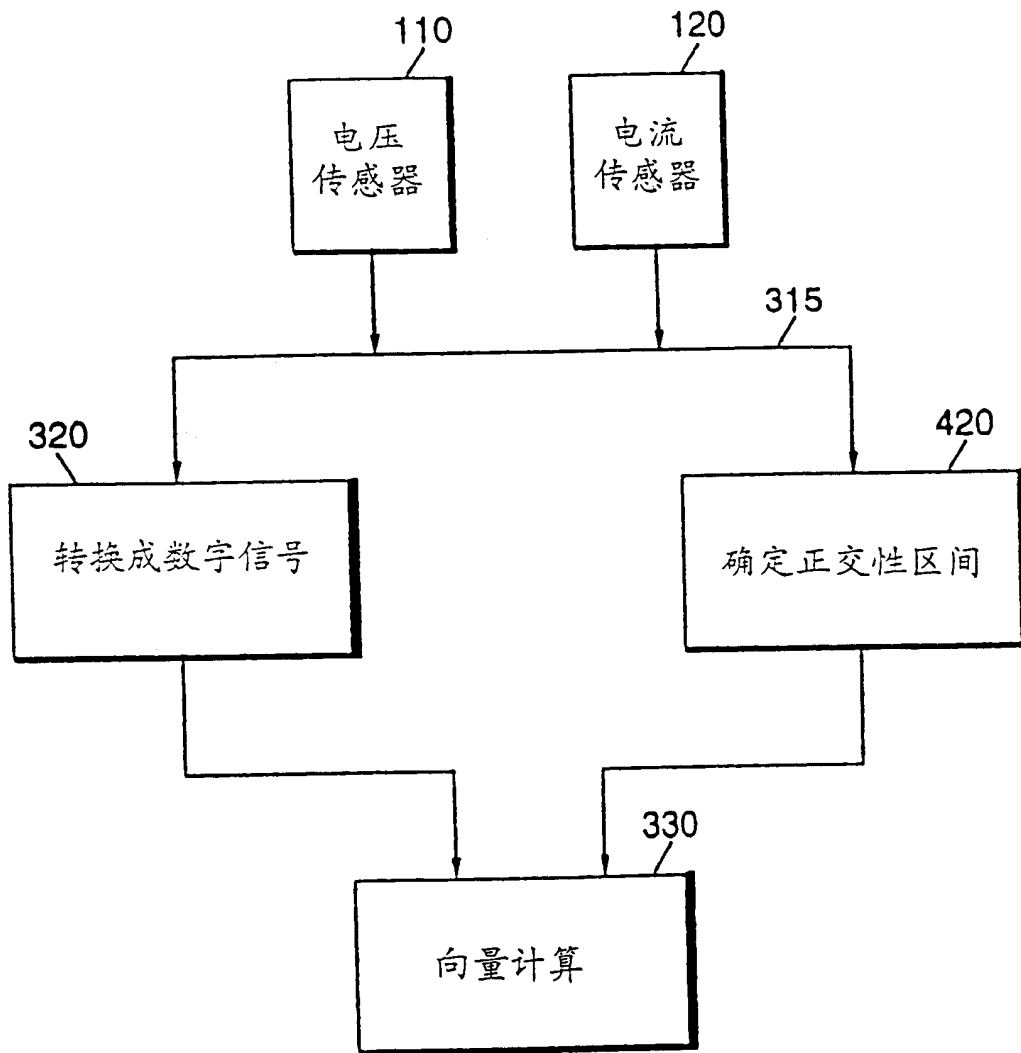


图 4

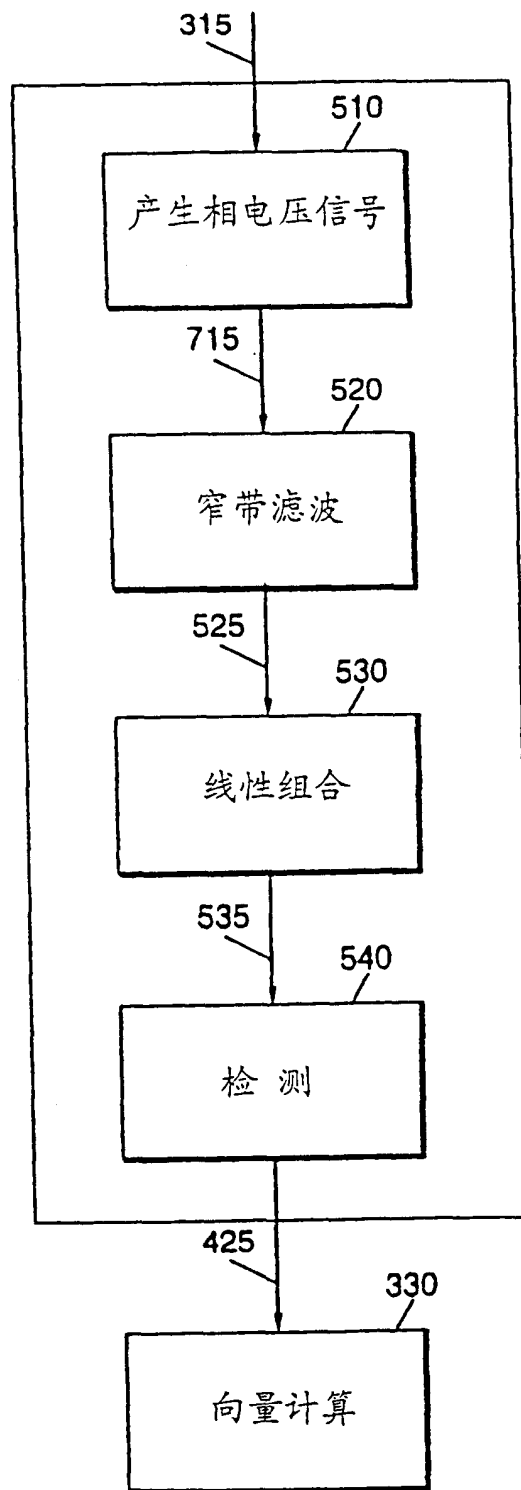


图 5

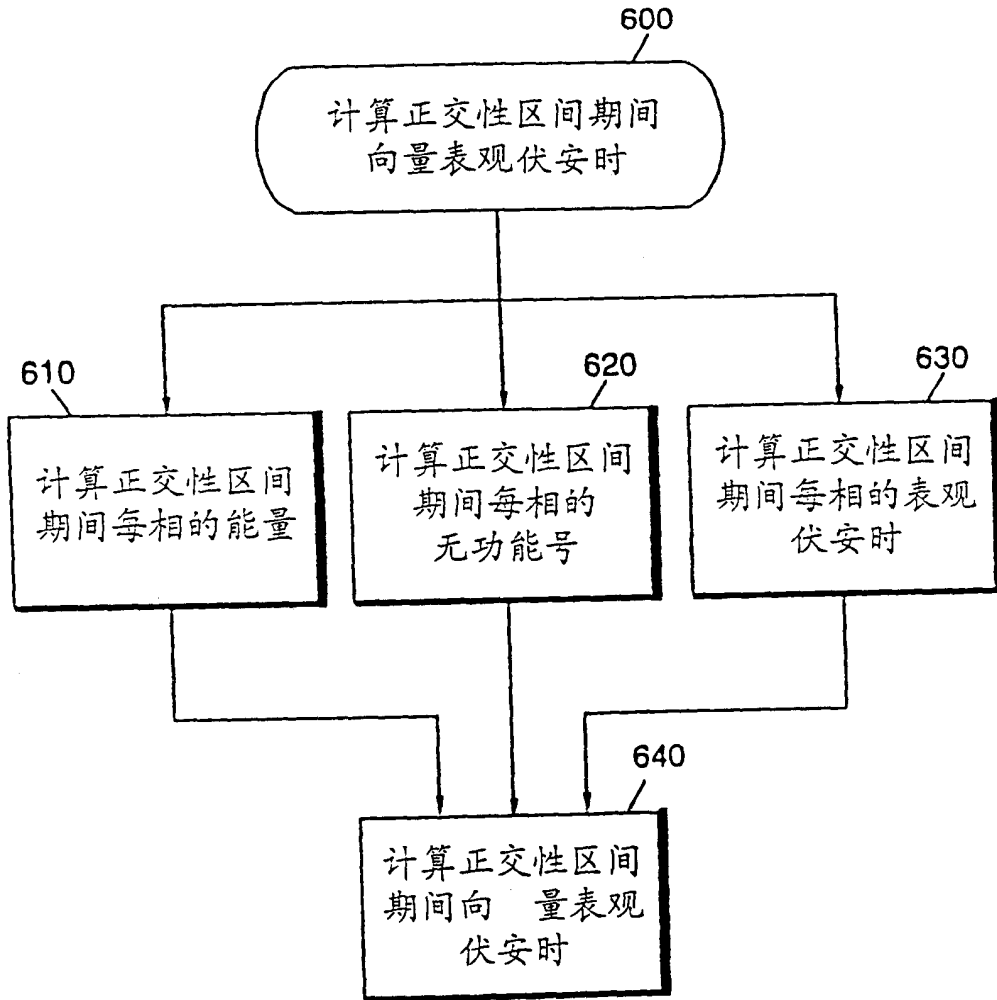


图 6

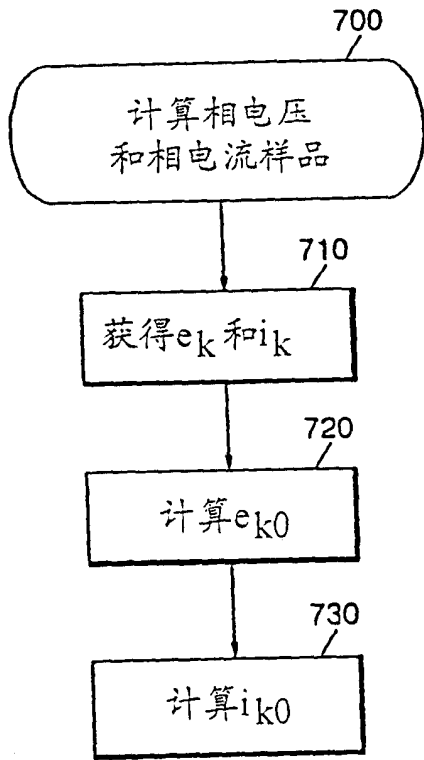


图 7

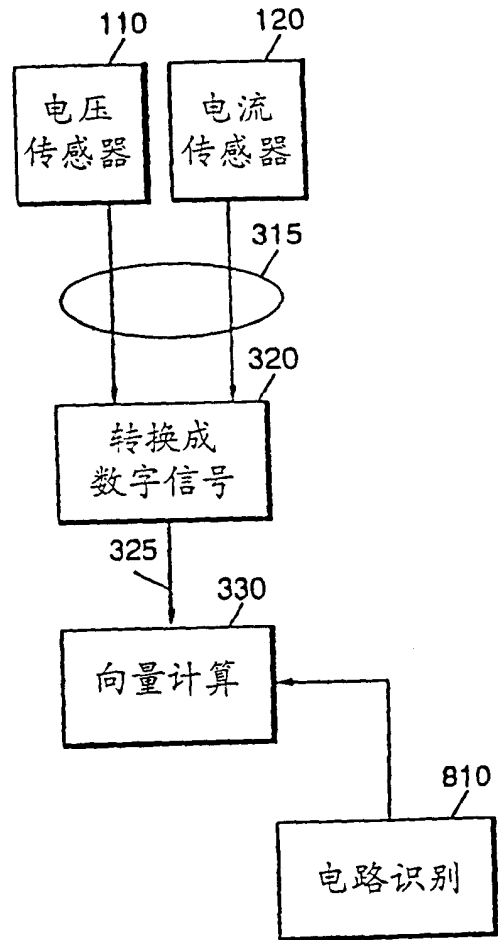


图 8

电路拓扑	检测的信号	处理
2元件3线电表 3相3线△形供电	$V_a \cdot I_a \cdot V_c \cdot I_c$	$V_{b0} \leftarrow 1/3(V_a + V_c)$ $V_{a0} \leftarrow V_{b0} + V_a$ $V_{c0} \leftarrow V_{b0} + V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow -(I_a + I_c)$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
1元件3线电表 1相3线供电	$V_a \cdot I_a \cdot I_c$	$V_{a0} \leftarrow V_a / 2$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow V_{a0}$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
2-1/2元件4线电表 3相4线Y形供线	$V_a \cdot I_a \cdot I_b \cdot V_c \cdot I_c$ (无 V_b)	$V_{a0} \leftarrow V_a$ $V_{b0} \leftarrow -(V_a + V_c)$ $V_{c0} \leftarrow V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow I_b$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
2元件3线电表 3相4线△供电 1相3线供电 3相4线Y形供电	$V_a \cdot I_a \cdot V_b \cdot V_c \cdot I_c$	$V_{a0} \leftarrow V_a - V_b$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
2元件3线电表 1相3线供电, 网络供电	$V_a \cdot I_a \cdot V_c \cdot I_c$	$V_{a0} \leftarrow V_a$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
1元件2线电表 1相2线供电	$V_a \cdot I_a$	$V_{a0} \leftarrow V_a$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow 0$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow 0$

图 9

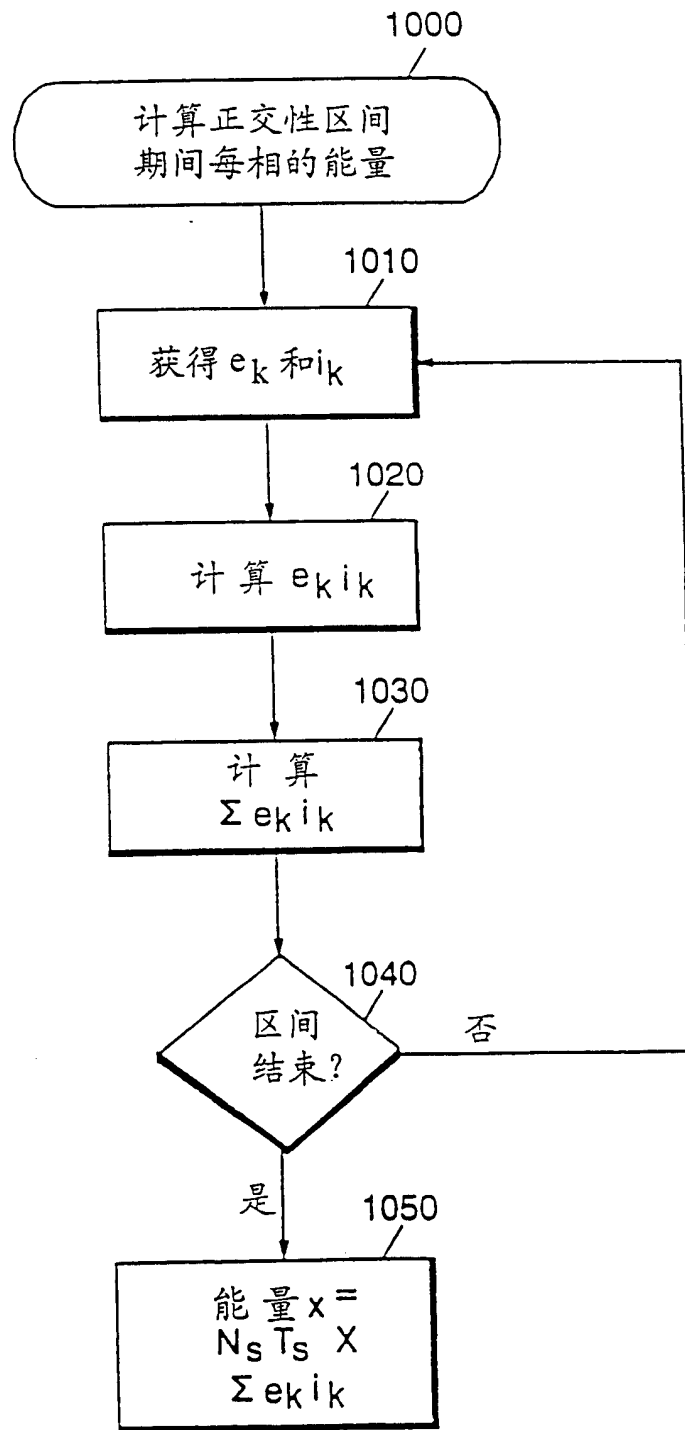


图 10

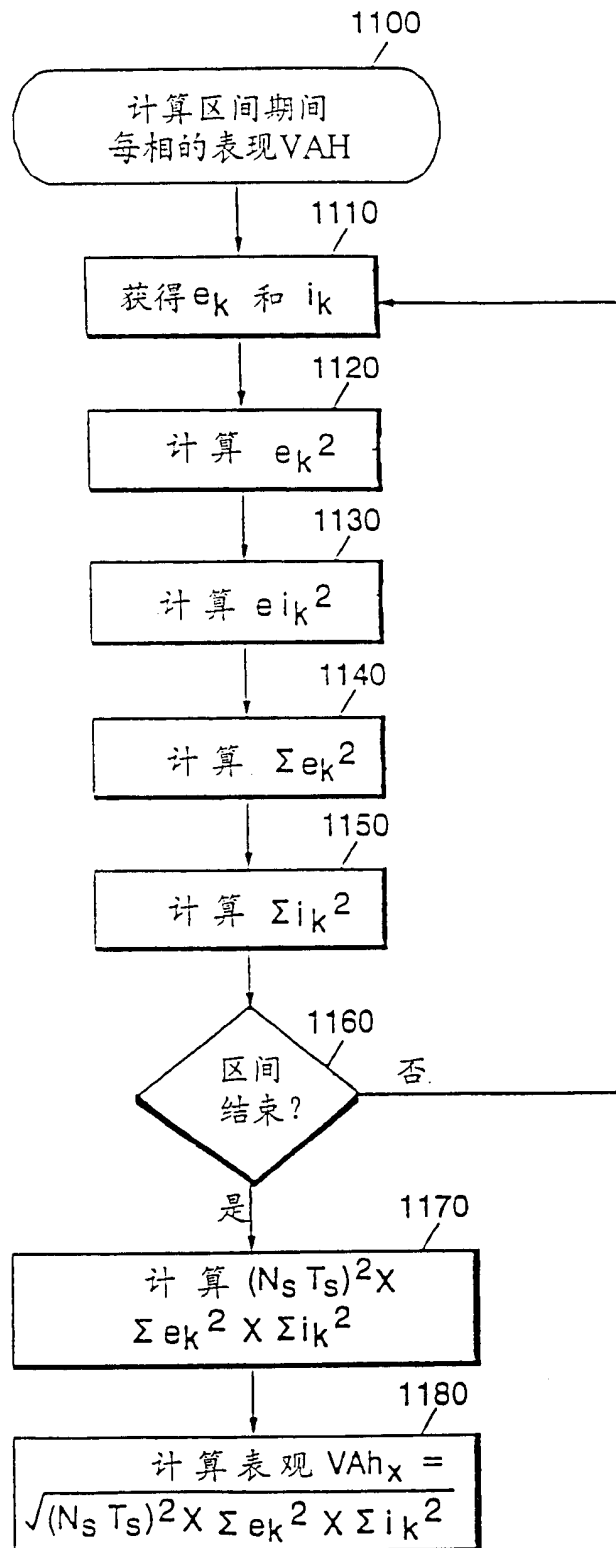


图 11

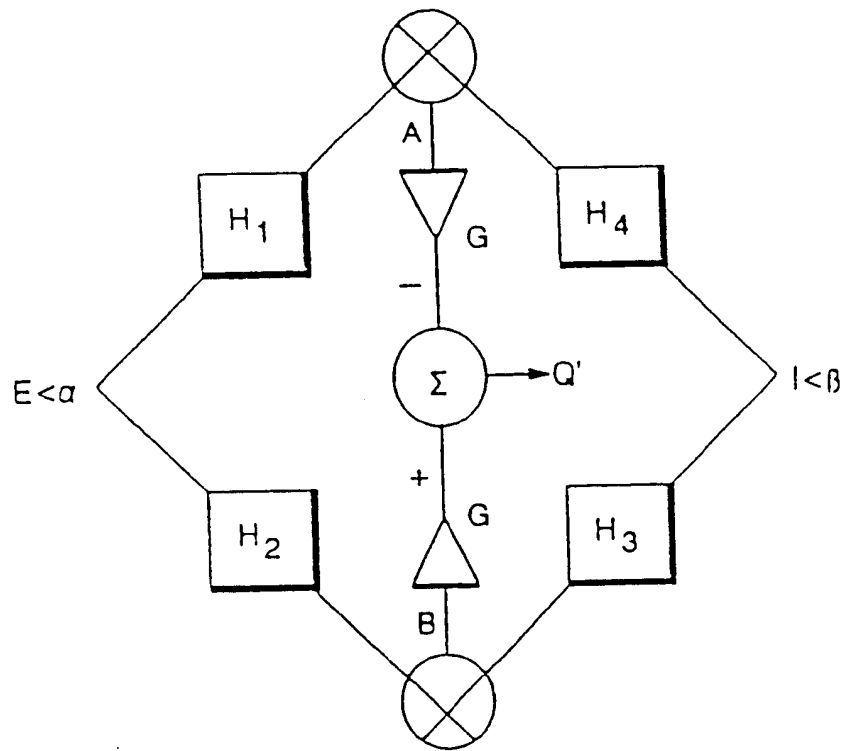


图 12A

[g(f)/2] 与频率的关系

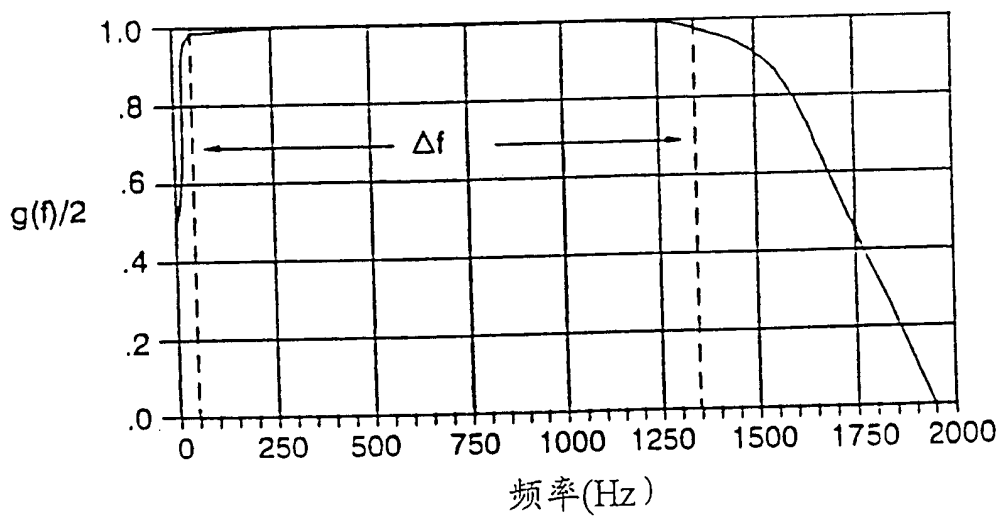


图 12B

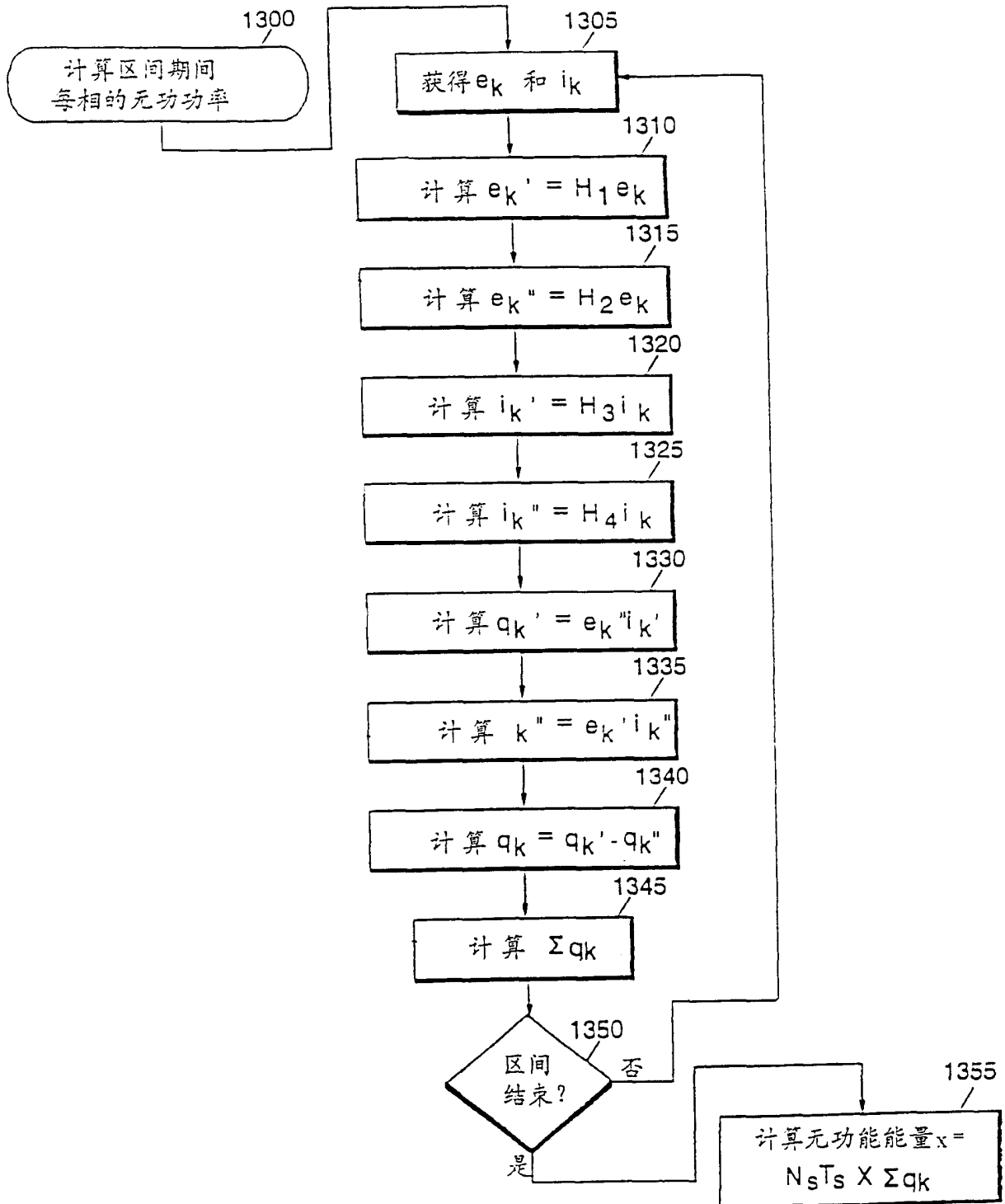


图 13

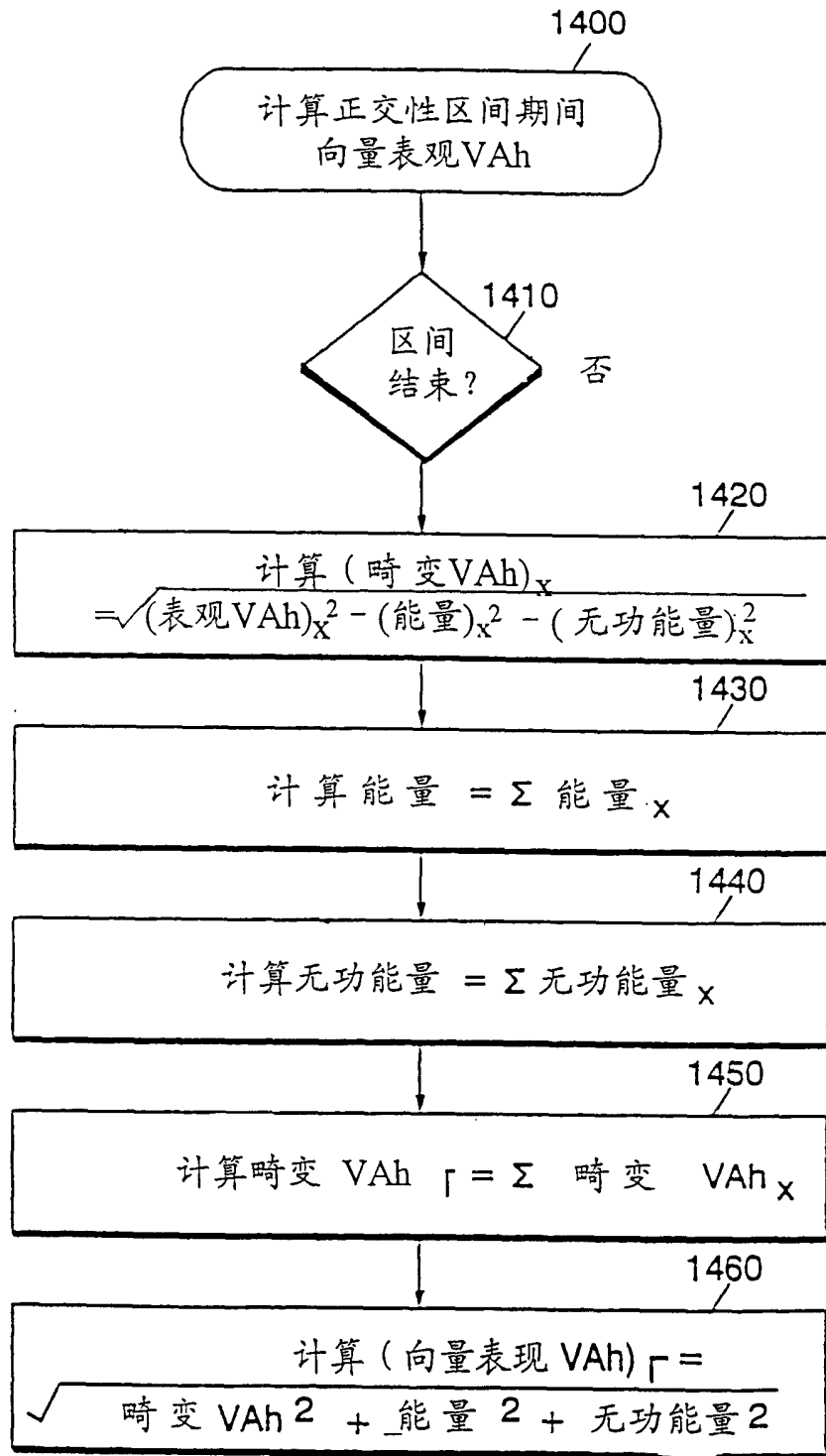


图 14

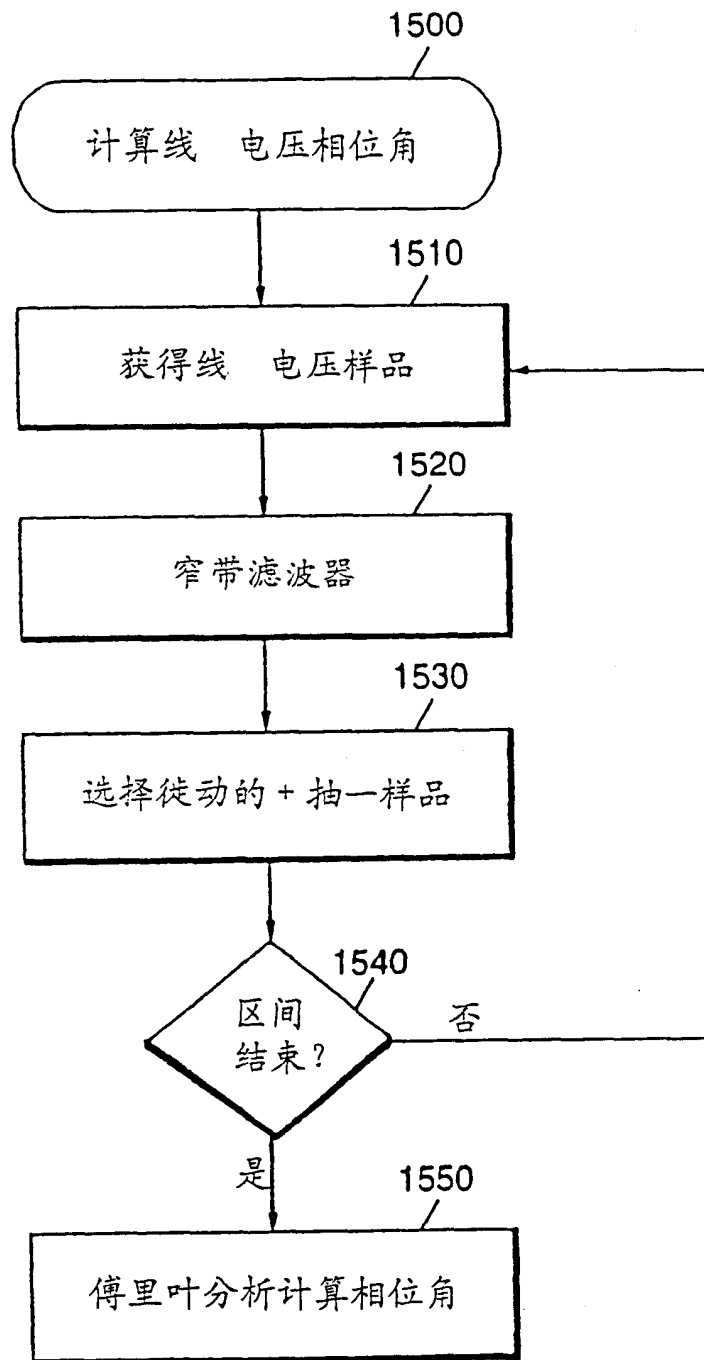


图 15A

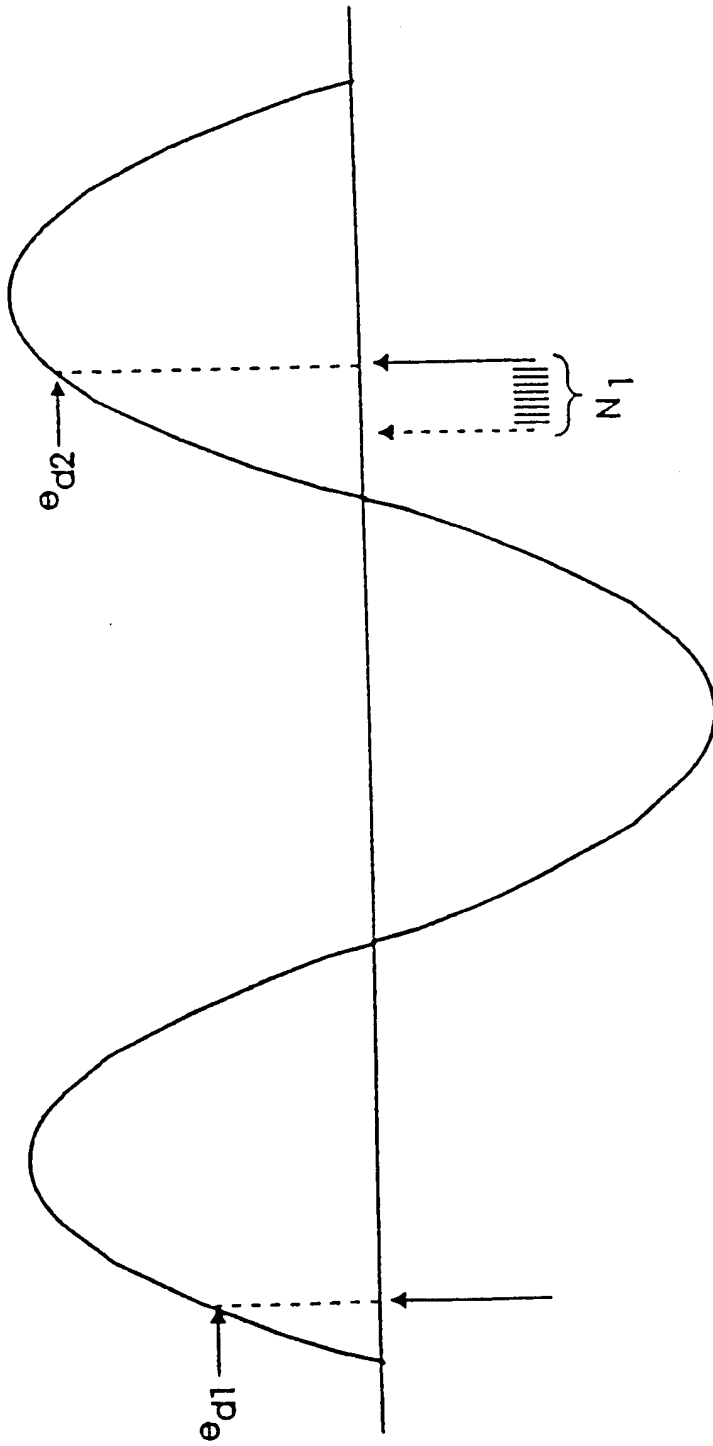


图 15B

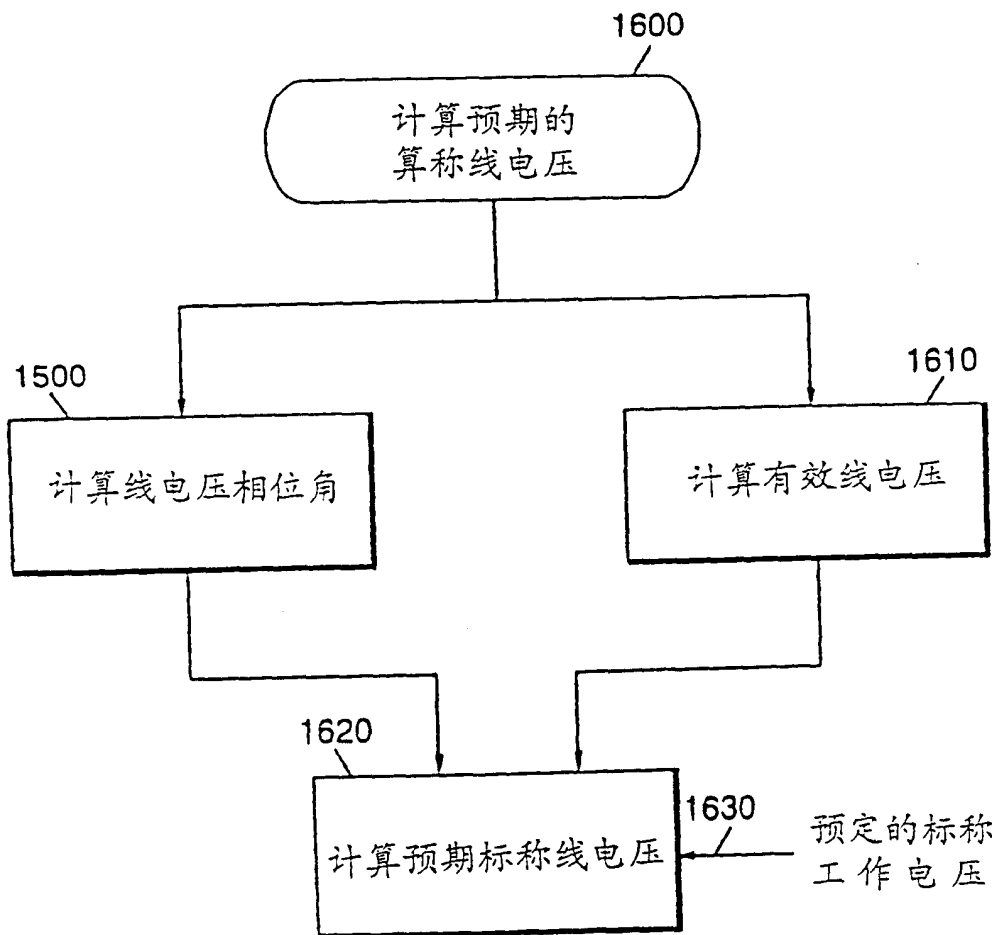


图 16A

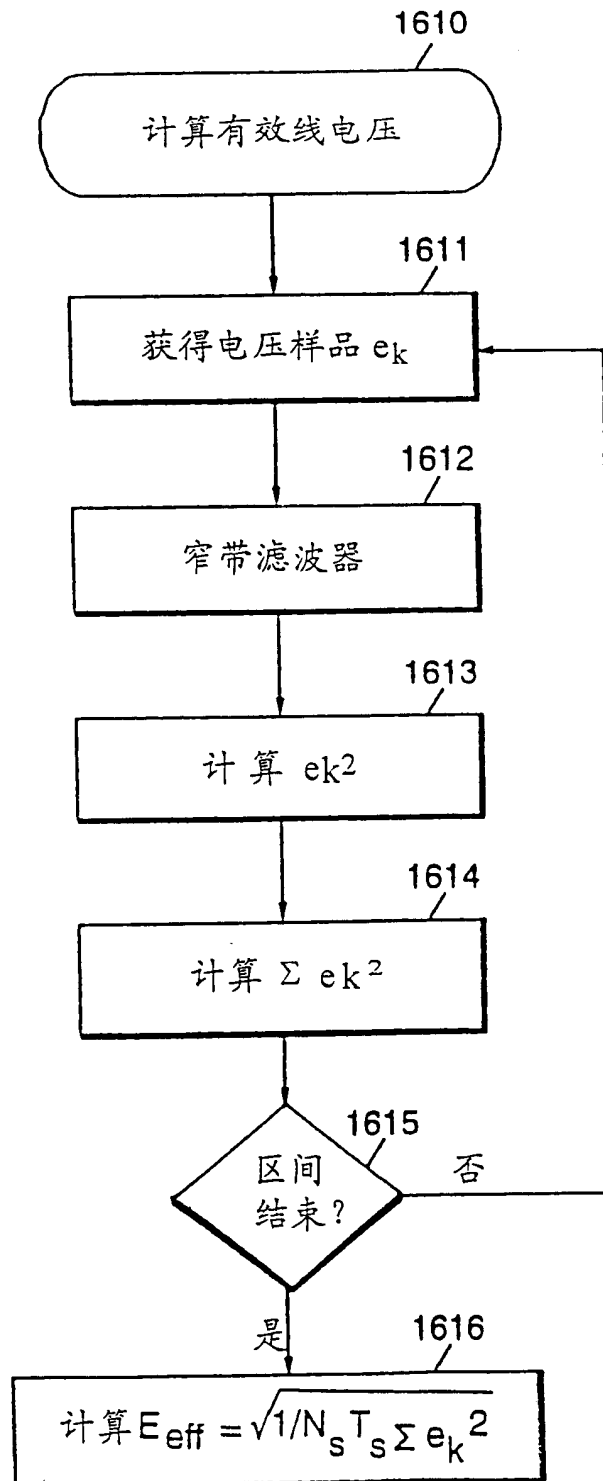


图 16B

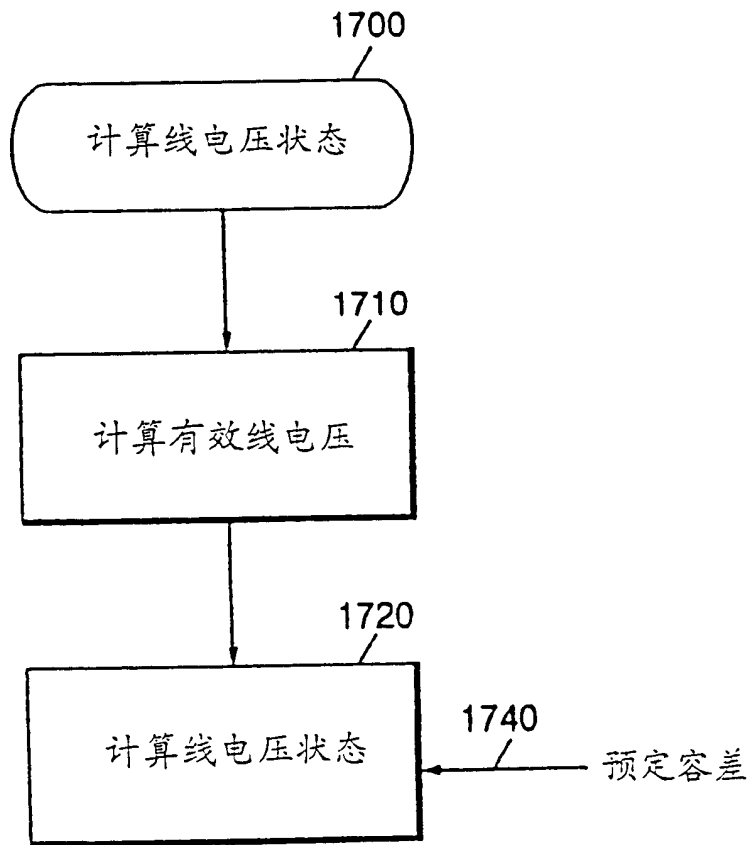


图 17

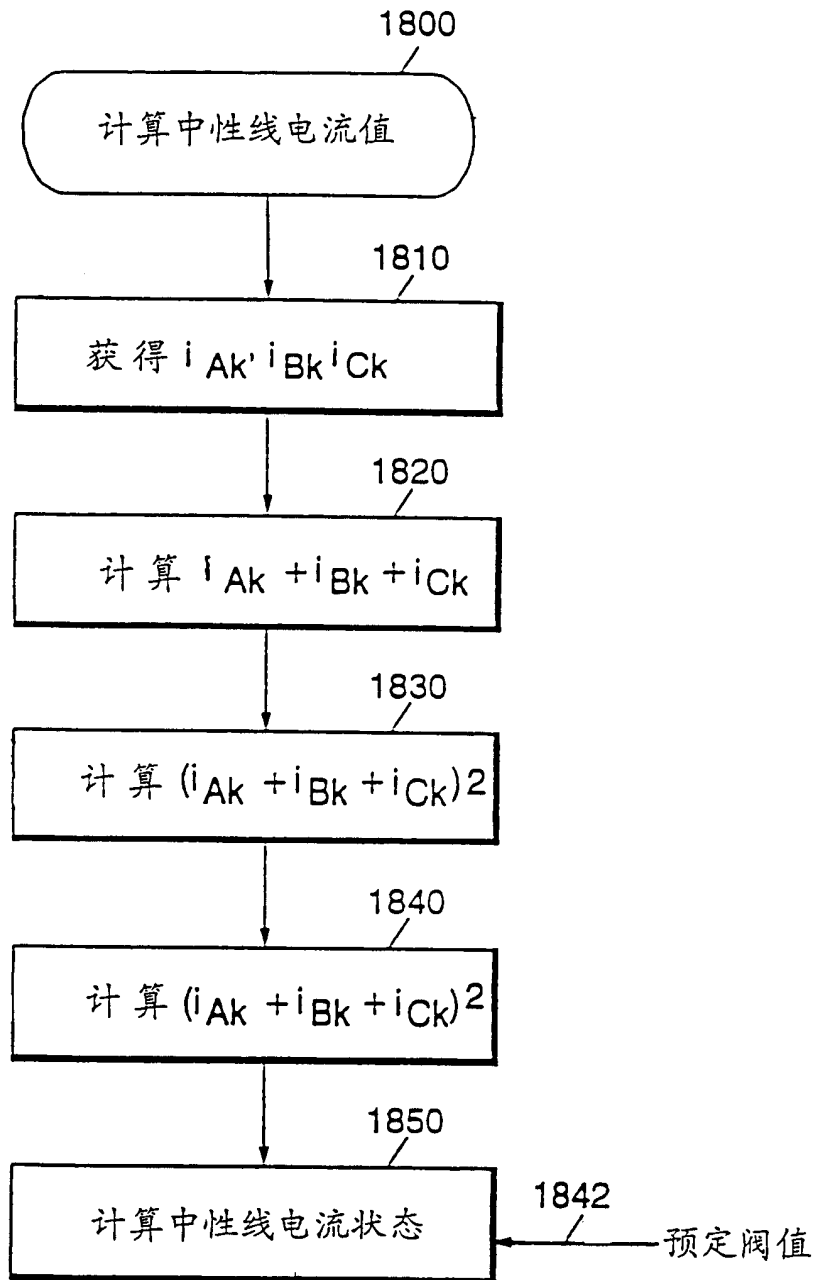


图 18

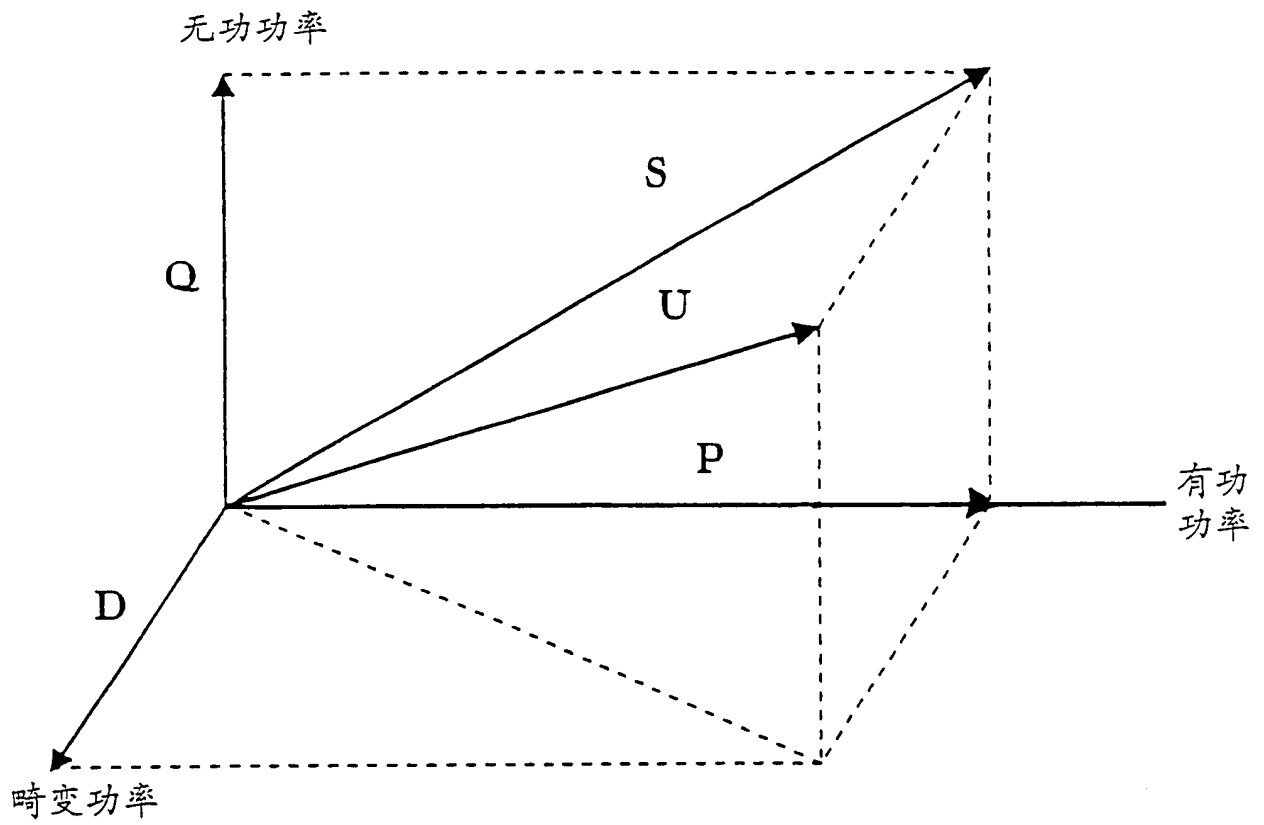


图 19