



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 00801865.0

[45] 授权公告日 2004 年 9 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1165774C

[22] 申请日 2000.6.30 [21] 申请号 00801865.0

[30] 优先权

[32] 1999.7.2 [33] US [31] 09/347,309

[86] 国际申请 PCT/US2000/018064 2000.6.30

[87] 国际公布 WO2001/002870 英 2001.1.11

[85] 进入国家阶段日期 2001.4.29

[71] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 J·A·霍格勒 M·G·维泽

审查员 王晓萍

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

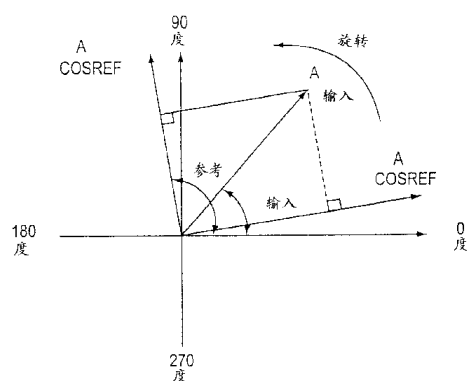
代理人 邹光新 陈景峻

权利要求书 6 页 说明书 11 页 附图 9 页

[54] 发明名称 三相电参数的实时测量方法和装置

[57] 摘要

一种装置(100)和方法,用于以实时方式确定三相系统发电机输出的关键参数。一对正交的参考矢量(118、120)的相位锁定在选定的一个开口三角形输入线间电压(110a)上。最好将余弦参考矢量(120)的相位锁定在跟所选输入矢量的相位相差45度,提供输入矢量在这一对正交矢量上的最佳投影,从而提高随后的幅度和相位计算精度。相位锁定了的参考矢量(118、120)提供了计算其余开口三角形线间电压矢量跟三个线到中性点电流矢量的幅度和相角的基础。三个线间电压和三个线到中性点电流的幅度和相位角、发电机的有功功率(瓦)、无功伏安(VARS)、视在功率(VA)、功率因数(PF),以及,作为锁相的结果,发电机精确的瞬时频率测量成为可能。



1. 分析多相电系统的一种方法，包括以下步骤：
测量所述多相电系统中的至少一相（110a、110b），得到一个实测
矢量；
5 产生一对正交的参考矢量（116）；
 将所述参考矢量（226、200a）相位锁相在与实测矢量偏离预定相
角；
 获得所述实测矢量的投影；和
 根据在所述实测矢量在所述参考矢量之一上的投影，计算电压
10 幅度或者电流幅度、电压相位或者电流相位和频率中的至少一个
 （114a、114b、126a、126b、132a、132b、134a、136b、138a、152a、
 154a、160a）。
2. 权利要求1的方法，其中的预定相角大约是45度。
3. 权利要求1的方法，还包括根据所述实测矢量和所述参考矢量
15 之一分别改变一个计数器（226）。
4. 权利要求1的方法，其中所述一对参考矢量分别是一个压控振
荡器（116）产生的一个矢量的正弦分量和余弦分量。
5. 权利要求1的方法，还包括：
 将所述实测矢量跟参考矢量之一混频（114a）；
20 用一个低通滤波器对混频结果进行滤波（126a）；和
 计算滤波结果的平方（132a）。
6. 权利要求5的方法，还包括：
 针对所述参考矢量的另一个，执行混频、滤波和计算平方值
的步骤；
25 将混频、滤波和计算平方值的步骤的结果加起来（134a）；
 计算所述相加步骤的结果的平方根（136a）；和
 放大（138a）计算平方根步骤的结果，
 获得实测矢量的幅度。
7. 权利要求5的方法，还包括：
30 对所述参考矢量的另一个，执行混频、滤波和计算平方值的步骤
 ；
 将所述混频、滤波和计算平方值的步骤的结果加（134a）起来；

- 计算相加步骤的结果的平方根 (136a);
计算由计算平方根的步骤所得到的结果的倒数 (150a); 和
将计算倒数的步骤得到的结果与实测矢量在所述参考矢量之一上的
的投影混频 (152a),
5 获得实测矢量与所述参考矢量之一之间的相位关系。
8. 权利要求 3 的方法, 其中的锁相步骤包括如下步骤:
计算在所述参考矢量的所述之一与实测矢量之间的 45 度相位偏移
(200a) 的误差, 并获得一个误差信号;
对所述误差信号积分 (202a);
10 将积分步骤的结果与所述计数器 (226) 提供的输出相加 (210),
获得一个偏移信号; 和
用所述偏移信号执行所述产生步骤。
9. 权利要求 1 的方法, 还包括以下步骤:
测量所述多相电系统中的至少两相 (110a、110b), 获得相应的实
15 测矢量;
比较所述实测矢量的幅度; 和
根据所述比较步骤的结果, 控制一个开关 (240) 以控制分别与实
测矢量有关的不同相位信息中的哪一个来执行所述锁相步骤。
10. 权利要求 1 的方法, 还包括:
20 获得所述多相电系统中多相的电压幅度、电流幅度和相角的测量
结果; 和
计算所述多相系统的有功功率、无功功率、功率因数和视在功率
中的至少一个。
11. 权利要求 1 的方法, 其中所述多相系统中的多相是三相。
- 25 12. 权利要求 4 的方法, 还包括提供一个数字压控振荡器 (250、
252、254、256、258)。
13. 权利要求 1 的方法, 其中的多相电系统包括一个发电机。
14. 权利要求 6 的方法, 其中的放大步骤包括放大两倍 (138a)
。
- 30 15. 一种方法, 用于在平衡和不平衡负载情形下, 实时地测量和
计算三相系统发电机瞬时频率 (222)、三个线间电压 (176、180、184
)、三个相电流 (188、192、196)、它们的相对相角 (174、178、182、

186、190、14)、电功率和功率因数中的至少一个,包括以下步骤:

测量所述发电机的至少一个输出信号(110a);

从一个压控振荡器(116)产生参考正弦和余弦分量,并将所述压控振荡器一个输出信号相位锁相在(200a)所述发电机的一个输出信号上;

将所述发电机的所述输出信号分别与所述正弦和余弦分量相乘(114a、114b);

分别过滤(126a、126b)所述相乘步骤的结果;和

(a)计算过滤步骤的结果的平方值(132a、132b);

10 将计算平方值的步骤的结果加起来(134a),并从得到的和计算出平方根(136a);和

放大(138a)计算平方根步骤的结果,获得所述发电机至少一个输出信号的幅度;和

(b)计算(150a)由计算平方根步骤的所得结果的倒数;

15 将计算倒数的步骤的结果与滤波步骤的结果之一相乘(152a);

将前述的相乘步骤的乘积钳位(154a)在绝对值最大为1上;和

执行反余弦操作(160a),获得所述发电机至少一个输出信号与所述余弦分量之间的夹角。

20 16. 权利要求15的方法,还包括让所述正弦和余弦分量与所述至少一个输出信号维持大约45度角。

17. 权利要求15的方法,还包括根据所述发电机的输出信号和所述参考正弦和余弦分量之一,分别设置一个增减计数器(226),从而控制所述压控振荡器的输入信号。

18. 权利要求17的方法,还包括:

25 计算所述余弦分量和钳位步骤的结果之间的45度相位偏移(200a)的误差,获得一个误差信号;

计算所述误差信号的积分(202a);

将积分步骤的结果与计数器(226)提供的计数值加起来(210),获得一个偏移信号;和

30 将所述偏移信号用于(216)执行所述产生步骤。

19. 权利要求15的方法,还包括:

测量所述发电机至少两个输出信号(110a、110b)的幅度,获得

相应的实测幅度;

将至少一个实测幅度跟预定门限进行比较 (240); 和

根据所述比较步骤所得到的结果, 控制 (240、206) 分别与至少两个输出信号有关的不同相位信息中用哪一个来执行锁相步骤。

5 20. 权利要求 15 的方法, 还包括根据所述三相系统中的其它两个线间电压计算 (112) 一个线间电压。

21. 权利要求 15 的方法, 还包括提供一个数字压控振荡器 (250、252、254、256、258)。

22. 权利要求 15 的方法, 其中的放大步骤包括放大两倍 (138a
10)。

23. 用于分析多相电系统的一种装置, 包括:

接收所述多相电系统中至少一相的实测矢量以获得实测矢量的装置 (110a);

产生一对正交参考矢量的装置 (116);

15 将所述参考矢量的相位锁相在跟所述实测矢量相差一个预定相角的装置 (200a、226); 和

计算所述多相电系统的电压或者电流幅度、电压或者电流相位和频率中的至少一个的装置 (114a、115b、126a、126b、132a、132b、134a、136a、138a、152a、154a、160a), 其中所述的至少一个计算
20 值是根据实测矢量在所述参考矢量之一上的投影计算的。

24. 权利要求 23 的装置, 还包括分别记录所述被测矢量和所述参考矢量之一过零次数 (226) 的装置。

25 25. 一种装置, 用于在平衡和不平衡负载情形中, 以实时方式测量和计算三相系统发电机的瞬时频率、三个线间电压、三个相电流、
25 相位之间的相对角、电功率和功率因数中的至少一个, 包括:

接收所述发电机至少一个输出信号的装置 (110a);

一个压控振荡器 (116), 用于产生参考正弦和余弦分量, 所述压控振荡器的相位锁相在所述发电机的所述输出信号上;

乘法块 (114a、114b), 用于将所述发电机的输出信号分别跟正弦
30 和余弦分量相乘;

低通滤波器 (126a、126b), 用于对所述乘法块的结果分别滤波;
和

(a) 计算平方值 (132a、132b)、求和 (134a) 和平方根操作块 (136a), 用于获得所述低通滤波器的输出的平方和的平方根; 和

用于放大得到的平方根的一个放大器 (138a); 和

5 (b) 一个除法器 (150a), 用于除以得到的平方根; 和另一个乘法块 (152a), 用于将所述除法器输出的结果与所述低通滤波器的结果之一相乘;

一个钳位电路 (154a), 用于将所述另一个乘法块的输出钳位在绝对最大值 1 的一个钳位电路 (154a); 和

10 一个反余弦操作块 (160a), 用于计算钳位电路的输出结果的反余弦。

26. 权利要求 25 的装置, 还包括将所述正弦分量和余弦分量跟至少一个输出信号之间的夹角维持在 45 度角的装置 (200a)。

27. 权利要求 25 的装置, 其中所述压控振荡器的输入信号由至少一个增减计数器 (226) 分别根据所述发电机的输出信号和所述参考正
15 弦和余弦分量之一加以控制。

28. 权利要求 27 的装置, 还包括:

一个 45 度误差相移操作块函数 (200a), 用于计算所述余弦分量与钳位电路的结果之间的误差, 得到一个误差信号;

20 一个积分器 (202a), 用于对所述误差信号进行积分; 和

一个加法器 (210), 用于将所述积分器的输出与所述计数器提供的计数相加, 获得一个偏移信号,

其中压控振荡器 (116) 的所述相位由一个偏移信号来设置。

29. 权利要求 25 的装置, 还包括:

25 测量所述发电机至少两个输出信号的幅度, 获得相应的被测幅度的装置 (110a、110b);

将至少一个被测幅度跟一个预定门限进行比较的装置 (240); 和

根据所述比较装置输出结果, 控制一个开关 (204、206) 以确定将分别与所述至少两个输出信号有关的不同相位信息中的哪个信息提
供给所述压控振荡器。

30 30. 权利要求 25 的装置, 还包括一个求反块 (112), 用于根据所述三相系统的第一个和第二个线间电压计算第三个线间电压。

31. 权利要求 25 的装置, 其中的压控振荡器是一个数字压控振荡

器。

三相电参数的实时测量方法和装置

技术领域

- 5 本发明涉及平衡或者不平衡三相电参数的实时测量，例如说功率、电压、电流和频率的实时测量。具体而言，本发明涉及利用锁相正交检波器对发电机平衡或者不平衡三相电参数的实时测量。

背景技术

- 多相，特别是三相发电机，广泛用于为商业和工业产生电力，因此，非常需要这些发电机产生稳定可靠的交流电。由于这些发电机常常受到各种功率波动、故障、电压和电流过载以及相位和频率扰动的影响，所以需要尽可能密切地监视发电机的输出参数。具体地说，在发电机的工作过程中，为了让系统安全地工作，需要让操作员获得发电机的工作参数；作为一种安全措施，出现不安全状况的时候，例如，
10 输入机械驱动功率跟提供的电功率之间不匹配时，需要提供反馈信号给系统。
15

- 一些现有技术里的发电机监视器，例如，通用电气公司的马克 V 涡轮控制卡 DS200TCCBG1B，都假设三相系统中，被监视的电压和电流信号的电压和电流矢量之间有 120 度的相位关系。但是，在系统发生了不平衡的情况下，120 度的相位关系便不再是合理的假设。因此，基于假设的 120 度相位关系的所有矢量测量和功率计算都不再有效。
20

- 在其它现有技术发电机监视器里，另一个假设是发电的频率维持在额定的系统频率上，例如，50 或者 60 Hz。总的来说，这一假设是正确的，特别是当发电机是跟相对较大的电力网连接的时候，其中的发电机会遇到电的“刚性”，倾向于使频率接近标称频率。另一方面，如果发电机不是跟一个很大的电力网连接，例如，自己有发电能力的生产设备，而且动力机械被开动或者关闭，甚至在配电系统不太可靠的某些不发达国家里，频率偏离标称频率 4~5 Hz 并不稀罕。然而，相位不平衡和频率变化会给旋转机械、电子设备和要用电的其它装置带来不良影响。
25
30

发明内容

由此可以看出，需要一种装置和方法，用来以实时确定三相发电

机输出的关键参数。按照本发明的一个优选实施方案，一对正交参考矢量的相位锁定在所选输入的开口三角形连接的线间电压矢量上。最好，这一余弦参考矢量跟所选输入矢量的偏离锁定在45度。这使得输入矢量在正交对上的投影最佳，从而提高后面计算幅度和相位的精度。

5 这些相位锁定了的参考矢量提供了计算其余开口三角形线间电压矢量和三个线到中性点的电流矢量的幅度和相角的基础，它们还被用作优选实施方案里系统的输入。利用计算出来的所选输入的幅度和相位，可测量三个线间电压和三个线到中性点电流的幅度和相位角瞬时测量结果，发电机的有功功率（瓦特）、无功伏安（VARs）、视在功率

10 （VA）、功率因数（PF）和作为相位锁定的结果的发电机的精确的频率。

根据本发明的第一方面，提供了分析多相电系统的一种方法，包括以下步骤：

测量所述多相电系统中的至少一相（110a、110b），得到一个实测

15 矢量；

产生一对正交的参考矢量（116）；

将所述参考矢量（226、200a）相位锁相在与实测矢量偏离预定相角；

获得所述实测矢量的投影；和

20 根据所述实测矢量在所述参考矢量之一上的投影，计算电压幅度或者电流幅度、电压相位或者电流相位和频率中的至少一个（114a、114b、126a、126b、132a、132b、134a、136b、138a、152a、154a、160a）。

根据本发明的第二方面，提供了一种方法，用于在平衡和不平衡负载情形下，实时地测量和计算三相系统发电机瞬时频率（222）、三个

25 线间电压（176、180、184）、三个相电流（188、192、196）、它们的相对相角（174、178、182、186、190、14）、电功率和功率因数中的至少一个，包括以下步骤：

测量所述发电机的至少一个输出信号（110a）；

30 从一个压控振荡器（116）产生参考正弦和余弦分量，并将所述压控振荡器一个输出信号的相位锁相在（200a）所述发电机的一个输出信号上；

将所述发电机的所述输出信号分别与所述正弦和余弦分量相乘 (114a、114b);

分别过滤 (126a、126b) 所述相乘步骤的结果; 和

(a) 计算过滤步骤的结果的平方值 (132a、132b);

5 将计算平方值的步骤的结果加起来 (134a), 并从得到的和计算出平方根 (136a); 和

放大 (138a) 计算平方根步骤的结果, 获得所述发电机至少一个输出信号的幅度; 和

(b) 计算 (150a) 由计算平方根步骤的所得结果的倒数;

10 将计算倒数的步骤的结果与滤波步骤的结果之一相乘 (152a);

将前述的相乘步骤的乘积钳位 (154a) 在绝对值最大为 1 上; 和

执行反余弦操作 (160a), 获得所述发电机至少一个输出信号与所述余弦分量之间的夹角。

根据本发明的第三方面, 提供了用于分析多相电系统的一种装置, 包括:

15 接收所述多相电系统中至少一相的实测矢量以获得实测矢量的装置 (110a);

产生一对正交参考矢量的装置 (116);

20 将所述参考矢量的相位锁相在跟所述实测矢量相差一个预定相角的装置 (200a、226); 和

计算所述多相电系统的电压或者电流幅度、电压或者电流相位和频率中的至少一个的装置 (114a、115b、126a、126b、132a、132b、134a、136a、138a、152a、154a、160a), 其中所述的至少一个计算值是根据实测矢量在所述参考矢量之一上的投影计算的。

25 根据本发明的第四方面, 提供了一种装置, 用于在平衡和不平衡负载情形中, 以实时方式测量和计算三相系统发电机的瞬时频率、三个线间电压、三个相电流、相间相角、电功率和功率因数中的至少一个, 包括:

接收所述发电机至少一个输出信号的装置 (110a);

30 一个压控振荡器 (116), 用于产生参考正弦和余弦分量, 所述压控振荡器的相位锁相在所述发电机的所述输出信号上;

乘法块 (114a、114b), 用于将所述发电机的输出信号分别跟正弦

和余弦分量相乘;

低通滤波器 (126a、126b), 用于对所述乘法块的结果分别滤波;
和

(a) 计算平方值 (132a、132b)、求和 (134a) 和平方根操作块
5 (136a), 用于获得所述低通滤波器的输出的平方和的平方根; 和
用于放大得到的平方根的一个放大器 (138a); 和

(b) 一个除法器 (150a), 用于除以得到的平方根; 和
另一个乘法块 (152a), 用于将所述除法器输出的结果跟所述低通
滤波器的结果之一相乘;

10 一个钳位电路 (154a), 用于将所述另一个乘法块的输出钳位在绝
对最大值 1 的一个钳位电路 (154a); 和

一个反余弦操作块 (160a), 用于计算钳位电路的输出结果的反余
弦。

附图说明

15 图 1A 和 1B 从原理上描述本发明的一个优选实施方案。

图 2 说明本发明一个优选实施方案中压控振荡器的一个布局。

图 3 从原理上说明按照本发明的一个实施方案获得各种功率参数
的方案。

图 4~6 说明本发明一个优选实施方案中增减计数器的输出。

20 图 7 说明一旦完成了锁相, 输入信号跟产生的余弦和正弦参考信
号分量之间的关系。

图 8 说明本发明中实现误差功能块 200a 的一组最优指令。

图 9 说明按照本发明一个实施方案, 选择让参考信号跟哪一个输
入信号实现相位锁定的逻辑功能的一个流程图。

25 图 10 说明本发明一个优选实施方案中, 各种矢量相角之间的关系
。

具体实施方案

在图 1A 和 1B 中用 100 来说明本发明的一个优选实施方案。笼统
地说, 在这个优选实施方案里, 有三个主要功能部分, 也就是正交检
30 波器、锁相环和相移反馈。这些功能部分将在下面逐个介绍。首先讨
论图 1A, 但是应当明白, 图 1B 中重复了这些功能中的大多数, 尽管针
对的是不同的输入信号。

正交检波器部分最好包括分别跟乘法块 114a、114b、114c、114d 连接的信号输入端 110a、110b，这些乘法块还跟输出压控振荡器 (VCO) 116 的参考正弦信号 118 和余弦信号 120 连接。乘法块 114a、114b、114c、114d 中的每一个都跟一个低通滤波器 126a、126b、126c、126d 连接，这些低通滤波器还跟每个正弦信号 118 和余弦信号 120 的平方功能 132a、132b、132c、132d 连接。此外，还提供了求和点 134a、134b，平方根功能 136a、136b 和增益块 138a、138b，它们一起提供信号幅度 176、180。随后讨论这里公开的实施方案中的数学。

除了前面的以外，正交检波器部分最好包括倒相器 150a、150b，分别连接在平方根功能 136a、136b 后面；还包括乘法器块 152a、152b，它们分别跟钳位电路 154a、154b 连接，而钳位电路 154a、154b 自己则最终跟反余弦功能 160a、160b 连接。前面介绍的正交检波器的那些部分产生信号 174、178，说明输入信号的相位跟参考矢量，也就是余弦信号 120，之间的关系。最后，块 170、172 说明可以在什么地方获得输入信号在正弦信号 118 上经过了滤波以后的投影。这一滤波投影的用途将在后面介绍。

本发明中优选实施方案里的锁相环包括 VCO 116 (图 2 中更加详细地说明)，增减计数器 226、230，低通滤波器 224、228，饱和限幅器 214 和用来选择所需反馈信号的逻辑控制开关 206，后面将对此详细介绍。图 2 所示的 VCO 116 最好是以数字方式实现，它包括一个输入端 250、一个离散时间积分器 252、一个翻转功能 254、一个增益块 256、一个度到弧度的转换器 258 和分别得到正弦信号和余弦信号 118、120 的正弦功能块 260 和余弦功能块 262。滚动功能 254 实现的算法在图 2 中说明。

图 1A 所示实施方案中的移相反馈部分最好包括测量所选输入矢量和余弦参考信号 120 之间相角差的一个功能 200a、200b。跟所需角度的差，在这里是跟 45 度 (5.4978 弧度) 的差，被转换成周期数，通过离散时间饱和复位积分器 202a 或者 202b 积分，如果允许，还通过开关 204 用求和块 210 加起来 (或者相减)，作为频率-相位误差的偏置反馈给 VCO 116。也就是说，频率-相位误差反馈被提供给求和块 216，求和块 216 将误差反馈跟 VCO 的中心频率 220 加起来。调整过的频率可以在 222 看到，而且说明信号频率 222 的信号通过输入端 250

被传递给 VCO 116 (图 2)。输入端 110a、110b 代表图 1A 和 1B 中用 V12、V23 和 V31 表示的开口三角形连接的线间电压矢量。这种表示方法跟拥有 A、B、C 相的三相系统中的 VAB、VBC 和 VCA 相似。尽管三相系统的第三个线间电压可以直接用传统的电压互感器 (PT) 来监测，
5 但是，为了降低整个监视系统的成本，通过参考图 1B 可以看出，通过求反块 112 将其它两个线间电压取反，就会获得第三个线间电压。跟那两个电压一样，得到的第三个电压通过乘法块 114e、114f 跟正弦信号和余弦信号 118、120 混频，得到的信号经过滤波器 126e、126f 滤波，滤波以后得到的分量，也就是余弦投影 128c 和正弦投影 130c 通过平方功能 132e、132f，它们的结果在求和块 134c 中求和，并通过
10 一个平方根功能 136c。平方根值用增益块 138c 放大，从而获得第三个线间电压的幅度 184。通过用倒数器 150c 计算平方根的倒数，并在乘法器 152c 中将得到的商跟余弦投影 128c 相乘，得到第三个线间电压跟余弦参考信号 120 之间的相角差。得到的乘积在钳位功能 154c 中钳位成 ± 1 ，最后，钳位功能 154c 的输出值经过反余弦功能 160c，
15 获得相角输出 182。

获得三相电流的幅度和相对于参考余弦信号 120 的相角的方式跟前面针对第三个线间电压所讨论的一样。

具体而言，电流信号进入输入端 110c、110d、110e。在乘法器
20 114g、114h、114i、114j、114k、114l 中，这些信号跟参考正弦信号和余弦信号 118、120 相乘。得到的乘积通过低通滤波器 125g、125h、125i、125j、125k、125l 滤波，得到相应的余弦投影和正弦投影 128d、130d、128e、130e、128f、130f。通过平方功能 132g、132h、132i、132j、132k、132l 计算这些投影的平方，并在求和块 134d、134e 和
25 134f 中加起来，如图所示。在那以后，提供平方根功能 136d、136e、136f，它们跟增益模块 138d、138e、138f 连接，从而在 188、192、196 获得相应的相电流幅度。对于相对于参考余弦信号 120 的相电流相角，在乘法器 152d、152e、152f 中将余弦投影 128d、128e、128f 跟经过倒数器 150d、150e、150f 倒过来了的平方根值相乘。乘积在钳位
30 功能 154d、154e、154f 里钳位，在框 160d、160e、160f 中计算反余弦，从而在 186、190、194 中得到所需要的相角。

如图所示，利用从正交检波器部分中相应低通滤波器出来的余弦

投影和正弦投影 128a、130a、128b、130b、128c、130c、128d、130d、128e、130e、128f、130f，计算出用于计算功率（图 3）的矢量幅度和相角。一对两个投影的平方和的平方根等于输入信号幅度的一半。这样，通过将这个量乘以 2 就得到输入信号的幅度。更严格的解释请参考后面的数学分析。此外，由于余弦投影跟正弦投影和余弦投影平方和的平方根的比等于输入信号和余弦参考信号之间相角差的余弦，所以，通过计算这个比的反余弦就能得到相位关系。

本发明中基于得到的矢量幅度和相位关系的功率计算在图 3 中说明。具体而言，在求和块 310 中将角度 174、186 求和。在框 316、318 中计算得到的和的正弦和余弦。然后将这些分量在乘法器 320、322 里跟幅度 176 混频，这个幅度是第一个线间电压的幅度。这些乘积再一次在乘法器 324、326 中跟 188 的 A 相电流幅度相乘。与此同时，在求和块 312 中将第二个线间电压相角 178 跟 180 度相角输入 300 求和，这样就得到了 C 相和 C 相之间相对于参考余弦信号 120 的电压相角。在框 314 中将这个值跟 C 相电流的相角的负数相加。这个块跟正弦和余弦功能 350、352 连接，它们的输出在乘法器块 354、356 中跟 B 相和 C 相之间的电压幅度 180 混频。块 354、356 跟乘法器 358、360 连接，也有输入跟 C 相电流幅度 196 连接。在求和块 328 中将乘法器块 358 的输出跟乘法器块 326 的输出求和，它的输出代表有功功率 P 330。这个有功功率值除以 S（以后介绍），就能给出功率因数 334。在图 3 中标为 S 的视在功率（VA）等于瓦特和 VARS 平方和的平方根，也就是 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 。在图 3 中，这一关系是通过用乘法器块 324 和 360 的输出在求和块 362 中计算它们的和来得到的，它给出无功功率 VARS，在图 3 中用 Q 标记。然后在平方功能 366 中计算 Q 的平方，同样在平方功能 336 中计算功率 P 的平方。这些平方值在求和块 338 中加起来，得到的和的平方根经过功能块 340，得到值 S，也就是视在功率 VA。

下面介绍这里公开的系统的工作过程。锁相环由频率-相位误差检波器控制，每次当输入信号，例如 110a、110b，在上升的过程中经过零的时候，增减计数器 226、230 加 1。另一方面，每次余弦参考矢量 120 在下降方向经过 0 的时候，增减计数器 226、230 减 1。计数器 226、230 向上计数或者向下计数，直到它在加到 VCO 中心频率一匹配输入信号频率所需要的小数赫兹以内。图 4、5 和 6 描述可能的计数器输出值

。图 4 说明使频率更高的增减计数器信号，图 5 说明增减计数器过渡到更高的计数和脉宽，图 6 则说明增减计数器锁定在一个稳态频率上。维持锁定所需要的小数赫兹嵌在增减计数器的脉宽里。频率相位增减计数器 226、230 的输出被低通滤波器 224、228 平滑，并通过开关 5 206 加到相移反馈信号中去。这两个反馈信号的和以某个增益通过用来加速这一响应的放大器 212，被用于将 VCO 中心频率 220 偏移所需量，以维持 VCO 116 输出信号的频率跟输入信号的频率相同。

相移反馈，也就是输入信号矢量跟余弦参考矢量 120 之间的误差，和所需相移（在这里是 45 度），通过离散时间饱和复位积分器 202a、10 202b 积分，然后在求和块 210 里加到适当的过滤以后的频率-相位误差增减计数器值上去。这一相移反馈将这两个反馈信号的和调偏，从而使频率-相位误差增减计数器的脉冲宽度达到稳态平衡点，输入矢量相对于余弦参考信号 120 保持在所需要的相角上。输入信号的频率是获得了增益的反馈信号跟 VCO 中心频率的和。

15 更具体地说，功能 200a 最好是用跟图 8 所描述的相似的软件代码来实现。从图中可以看出，过滤以后的正弦投影，例如 170，被用于保证计算结果正确。同样的算法被用于功能 200b 反馈路径，只有 V12 和 V23 之间的 120 度差被加到所需要的差上去，使得它为 165 度，而 V12 路径上的则是 45 度。这样，在这一算法的 V23 反馈路径里，从 V12 路径中减去 3.403392041 弧度（195 度）而不是 5.497787144 弧度（315 度）。

反馈控制开关 240 按照图 9 中的方式工作。锁相环正常的反馈选择是利用 V12 输入信号 110a，只要 110a 处输入信号的幅度大于一个预定门限（步骤 800、810、820、830）。如果不是这样，就将 V23 的幅度，也就是输入信号 110b 的幅度，跟同一个门限值比较（步骤 840、25 850）。如果 V23 的信号电平足够大（步骤 850），就将它作为反馈选择（步骤 860、870）。反馈控制的切换在框 240 里进行，见图 1A。如果 V12 和 V23 都不超过门限值，那么，如果 V23 远大于 V12（例如 150% 或者任何其它合适的值），就将 V23 用作反馈选择（步骤 880、860、30 870）。否则，就用 V12。应当指出，默认情况下或者一般情况下都使用 V12 只是任意的，V23 也可以被用作基本选择。只要需要，就重复这一过程，以便在“活”的输入信号的基础之上，使系统得到不间断的

监视。也就是说，这一切换逻辑在系统发生故障的情况下以及一个或者其它输入信号随后发生电压损失的情况下也可以使用。因此，只要发电机的一相有电，就能计算功率。

为了用另外一种方式进行解释，226 或者 230，提供了一种过程，
 5 通过向上或者向下计数来进行整数频率调整，以及通过增减脉冲宽度精确地进行频率控制。参考图 5~7，脉冲宽度一直增加，直到向上计数或者脉宽维持常数，以及达到一个平衡点。变窄的脉冲宽度和向下计数也会得到相似的效果。紧跟增减计数器后面的低通滤波器 224、
 228 能够平滑计数器输出，从而提供增减计数器脉冲串的平均值。这样，一个微小（小数）频率分量嵌在增减计数器脉冲宽度内。问题是
 10 如何保证输入矢量保持跟余弦参考信号 120 相差恒定的 45 度。如前所述，这个 45 度偏差使得在参考余弦和正弦参考相量上的投影更加平衡，并提供了更加精确的测量结果。相位偏移反馈路径保证了所需要的这种关系。通过将所需要的相位角跟给余弦参考相位角的反馈输入
 15 之间的差进行积分，然后将它加到增减计数器里去，就能够得到锁定在所需频率和相位角上所必需的偏置。换句话说，增减计数器将提供加到 VCO 中心频率上去，保持 VCO 输出频率跟输入频率一致（GEN V 12 或者 V 23）所必需的正确反馈。但是，这一相位关系不受增减计数器反馈中任何机制的控制。通过增加相位偏移反馈路径，可以指定频率
 20 和相位。

下面是可以用于本发明一个优选实施方案的矢量乘法的数学分析

矢量乘法的数学分析

输入矢量跟参考矢量的乘法遵守以下三角等式。

$$\begin{aligned}
 25 \quad & [A_{in} \sin(\omega_{in} t + \phi_{in})] [A_{ref} \sin(\omega_{ref} t + \phi_{ref})] = \\
 & [(A_{in} A_{ref} / 2) \cos((\omega_{in} t + \phi_{in}) - (\omega_{ref} t + \phi_{ref}))] - \\
 & [(A_{in} A_{ref} / 2) \cos((\omega_{in} t + \phi_{in}) + (\omega_{ref} t + \phi_{ref}))] \quad (\text{等式 1})
 \end{aligned}$$

对于同一频率，也就是 $\omega = \omega_{in} = \omega_{ref}$ ，的两个矢量，等式 1 成为：

$$\begin{aligned}
 30 \quad & [A_{in} \sin(\omega_{in} t + \phi_{in})] [A_{ref} \sin(\omega_{ref} t + \phi_{ref})] = \\
 & [(A_{in} A_{ref} / 2) \cos(\phi_{in} - \phi_{ref})] - \\
 & [(A_{in} A_{ref} / 2) \cos(2\omega t + \phi_{in} + \phi_{ref})] \quad (\text{等式 2})
 \end{aligned}$$

)

由此可以看出，有一个直流项，也就是第一个括号内的项，还有一个交流项，也就是第二个括号内的项。只有当两个矢量的频率都相同才存在这一直流项。如果等式 2 代表的信号通过一个低通滤波器，去掉交流分量，保留直流分量，那么等式 2 将简化为：

$$\begin{aligned} 5 \quad & \text{滤波后的 } \{[A_{in} \sin(\omega_{in} t + \phi_{in})][A_{ref} \sin(\omega_{ref} t + \phi_{ref})]\} = \\ & [(A_{in} A_{ref} / 2) \cos(\phi_{in} - \phi_{ref})] \quad (\text{等式 3}) \end{aligned}$$

如果我们将我们的参考矢量选择一个单位矢量，也就是 $A_{ref} \equiv 1$ ，那么，等式 3 就进一步简化成：

$$\begin{aligned} 10 \quad & \text{滤波后的 } \{[A_{in} \sin(\omega_{in} t + \phi_{in})][A_{ref} \sin(\omega_{ref} t + \phi_{ref})]\} = \\ & [(A_{in} / 2) \cos(\phi_{in} - \phi_{ref})] \quad (\text{等式 4}) \end{aligned}$$

现在参考图 7 是有帮助的。

通过定义

$$\begin{aligned} & \cos(\phi_{in} - \phi_{ref}) \equiv (\text{邻边} / \text{斜边}) = \\ 15 \quad & (A_{in} \text{ 在 } A_{ref} \text{ 上的投影}) / A_{in} \quad (\text{等式 5}) \end{aligned}$$

从等式 5 中解出该项 (A_{in} 在 A_{ref} 上的投影) 得到：

$$\begin{aligned} & (A_{in} \text{ 在 } A_{ref} \text{ 上的投影}) = A_{in} \cos(\phi_{in} - \phi_{ref}) \quad (\text{等式 6}) \\ &) \end{aligned}$$

将等式 6 跟等式 4 进行比较，显然有：

$$\begin{aligned} 20 \quad & \text{滤波后的 } \{[A_{in} \sin(\omega_{in} t + \phi_{in})][A_{ref} \sin(\omega_{ref} t + \phi_{ref})]\} = \\ & (A_{in} \text{ 在 } A_{ref} \text{ 上的投影}) / 2 \quad (\text{等式 7}) \end{aligned}$$

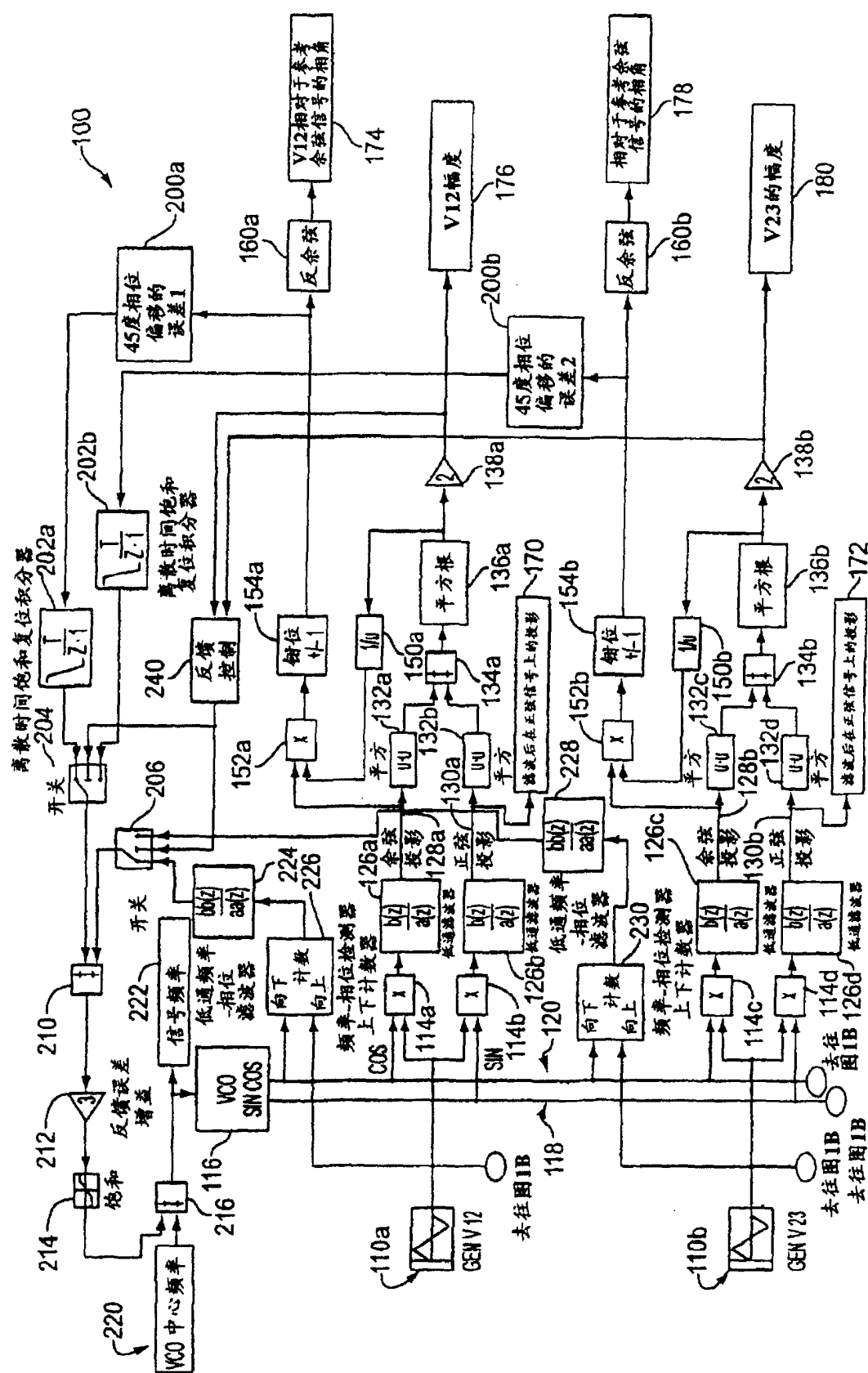
换句话说，滤波器输出等于输入矢量在参考矢量上投影的一半。

这里指出，对于角度输出 174、178、182、186、190、194，角度输出等于输入矢量（线间电压或者线到中性点的电流）跟余弦参考信号 120 之间的夹角。但是，从图 10 可以看出，相对于 0 度参考的真实相位角等于余弦参考角加上余弦参考信号和感兴趣的矢量之间的夹角。也就是说，为了提供图 7 和图 10 中标为“ ϕ 输入”的角度，有必要加上图 1 里的一个反余弦块（没有画出），将 VCO 116 的余弦输出 120 转换成一个角度，并按照上述方式进行计算。

30 这样，这里讨论的优选实施方案提供了一种方法和装置，用来在平衡和不平衡负载情形里，以实时方式精确地测量和计算发电机的工作参数，包括瞬时频率、三个相电压、三个相电流、这些相之间的相

对相角、电功率（瓦、VARs、VA）和功率因数。让保持一对矢量正交，最好以大约 45 度，锁定在选择的输入信号上，并用作公共基准，计算发电机工作参数必需的所有输入矢量都能测量得非常准确。采用公共基准解决了使用假设的相角和/或频率所带来的问题，从而使这一测量方案更加坚固。特别是，将输入矢量相对于参考正交对偏移 45 度，并使它跟锁相环维持 45 度的差这一技术，提供了测量点参数的一种更加精确的方法。因此，有可能，例如，精确地控制发电机原动机的速度，从而更加精确地控制配送的电的频率和/或相位。

10 尽管描述本发明的时候参考了优选实施方案，但是本领域里的技术人员应当明白，可以做各种修改，而且可以用等价的东西替换其中的部分，而不会偏离本发明的范围。另外，可以进行各种改进以适应某种特殊性情况，而不会偏离本发明的基本范围。所以，本发明不是仅限于这里公开的优选实施方案，而是包括属于后面的权利要求的范围内的所有实施方案。



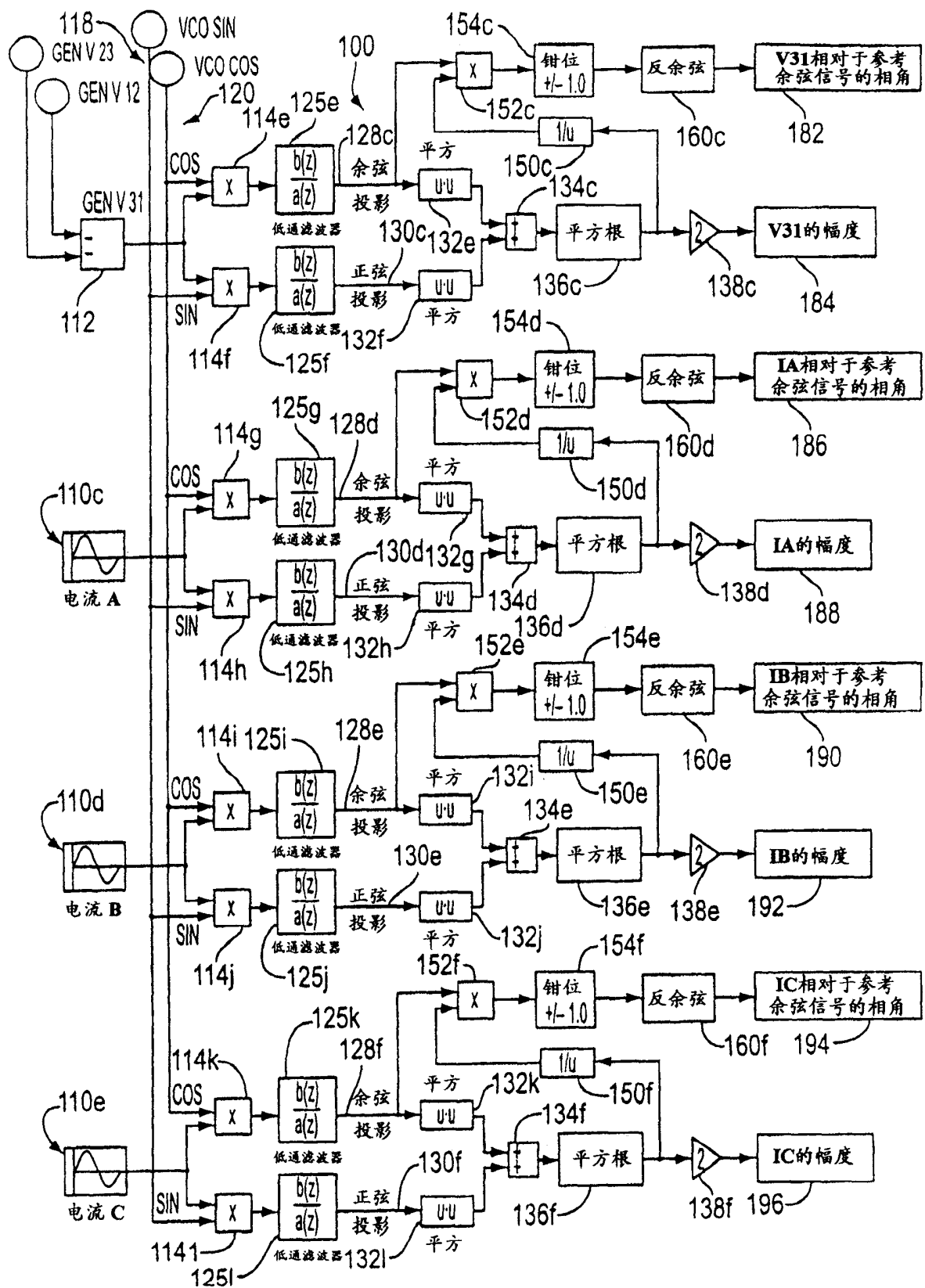


图 1B

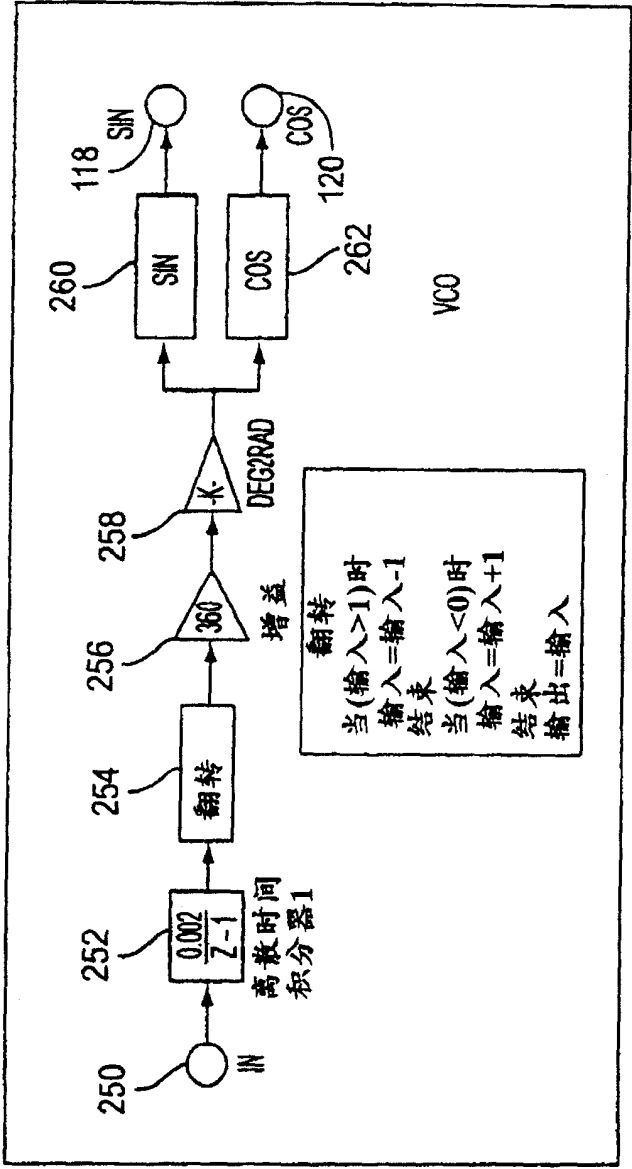
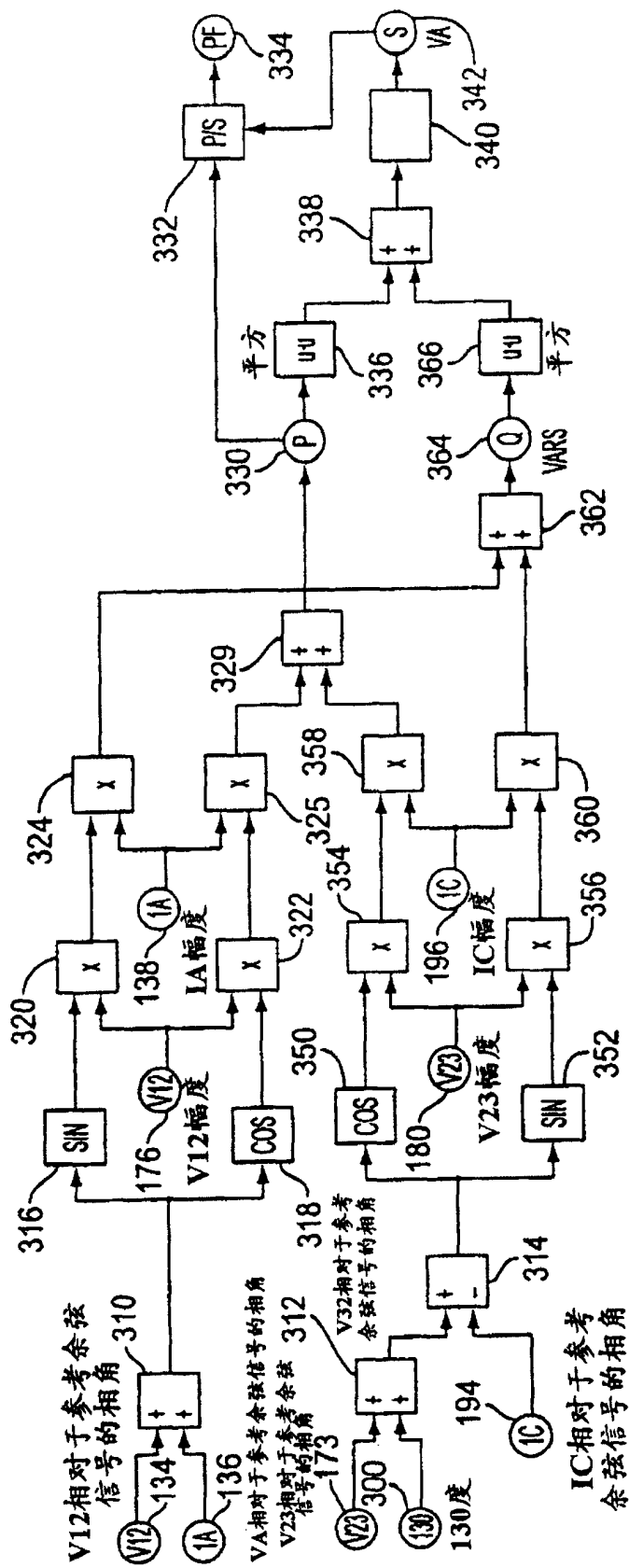


图 2



三

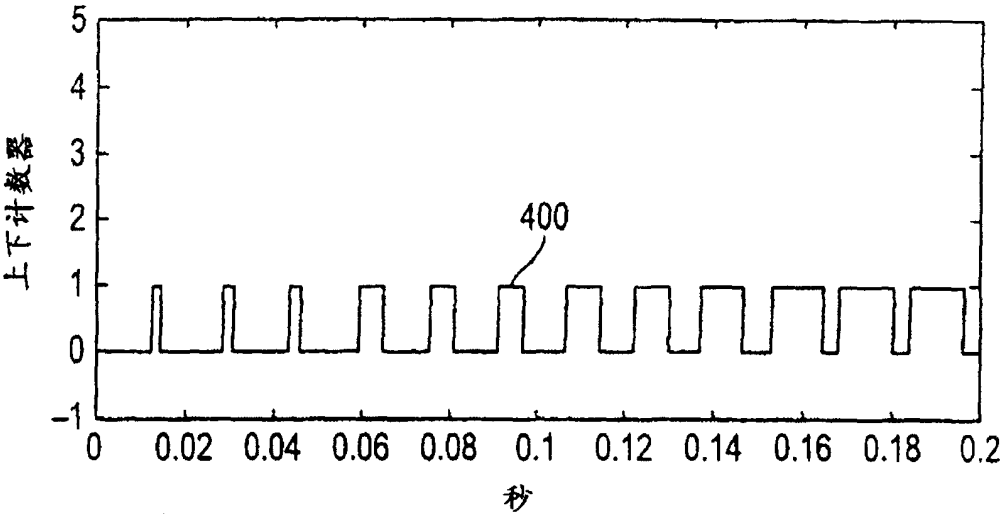


图 4

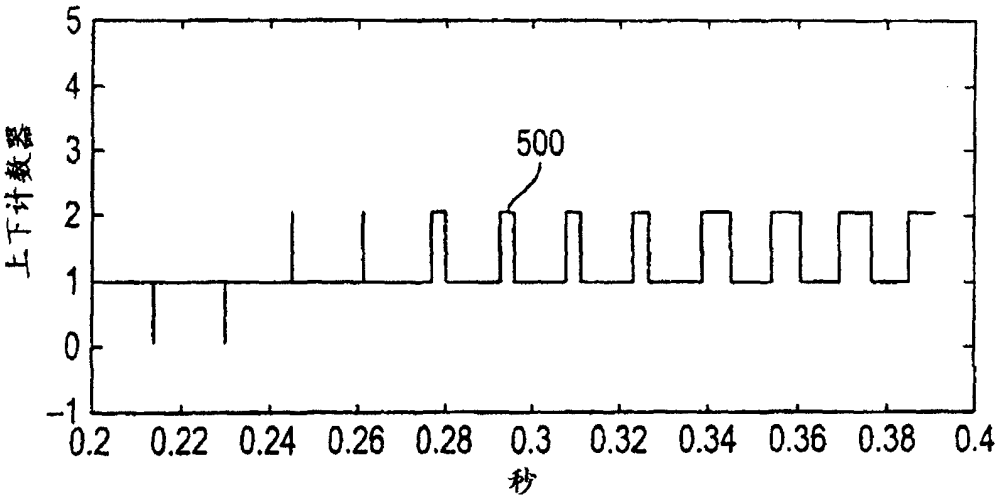


图 5

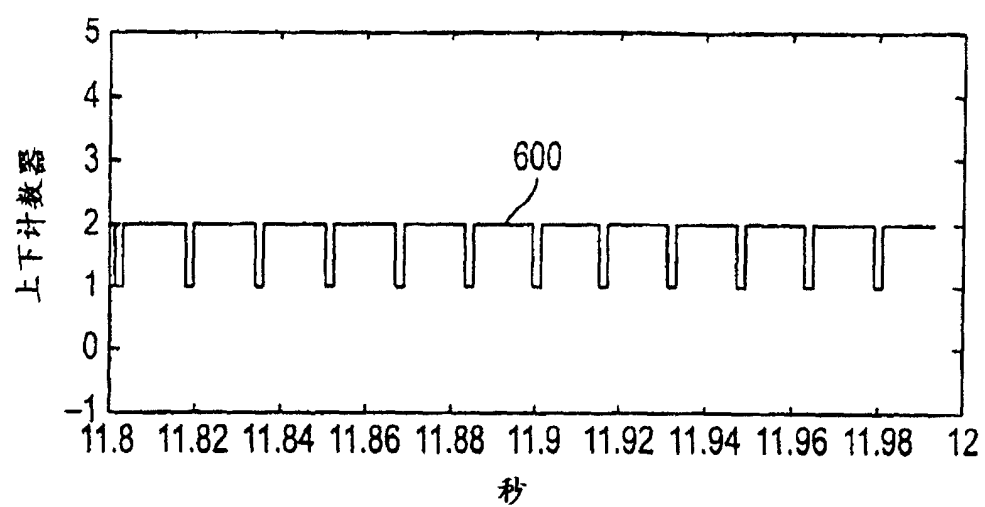


图 6

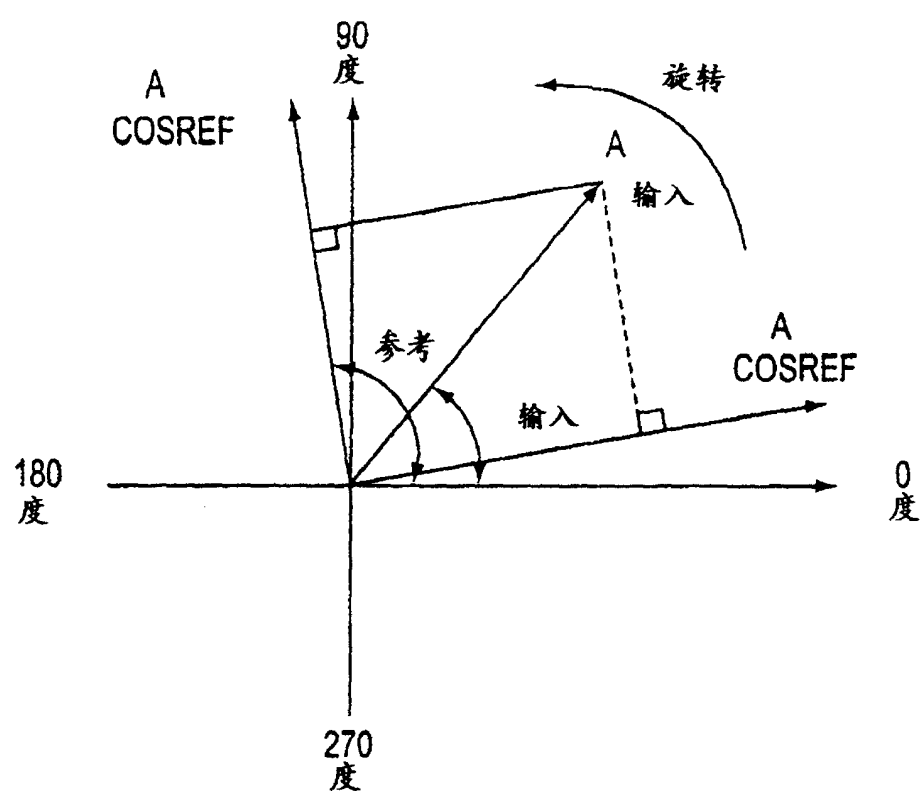


图 7


```

% Phas_45.m
% 跟参考余弦向量之间的相位偏移45度
% 使Gen_V_12的输入向量

function y = phas_45(u)

global filtered_sin_proj;

% 如果输入向量在第一相限或者第二相限, 那么
if (filtered_sin_proj < 0.0)

    % 计算每一向量相对于参考余弦信号之间的相角
    angle = acos(u);

% 或者输入相角在第二相限或者第四相限
else

    % 反余弦只在 $0 \sim \pi$ 之间有定义
    % 如果在第三相限或者第四相限, 就在 $\pi$ 到 $2\pi$ 之间计算角度
    angle = acos(u);
    angle = (2*pi) - angle;
end

% 相对于参考余弦信号, 就当旋转1/9圈 (45度),
% 找出这个角度跟所需角度之间的差 (误差).

% 减去5.497787144 弧度 ( $-7/8$ 圈, 也就是  $-315$ 度)
error = angle - 5.497787144;

% 让角度误差在 $0 \sim 2\pi$ 弧度之间
if (error < 0.0)
    error = error + 2*pi;
end

% 转换参考余弦输入向量偏移的角度误差,
% 从弧度转换成圈数
if (error < pi)
    y = error/(2*pi);
else
    y = error/(2*pi) - 1.0;
end

```

图 8

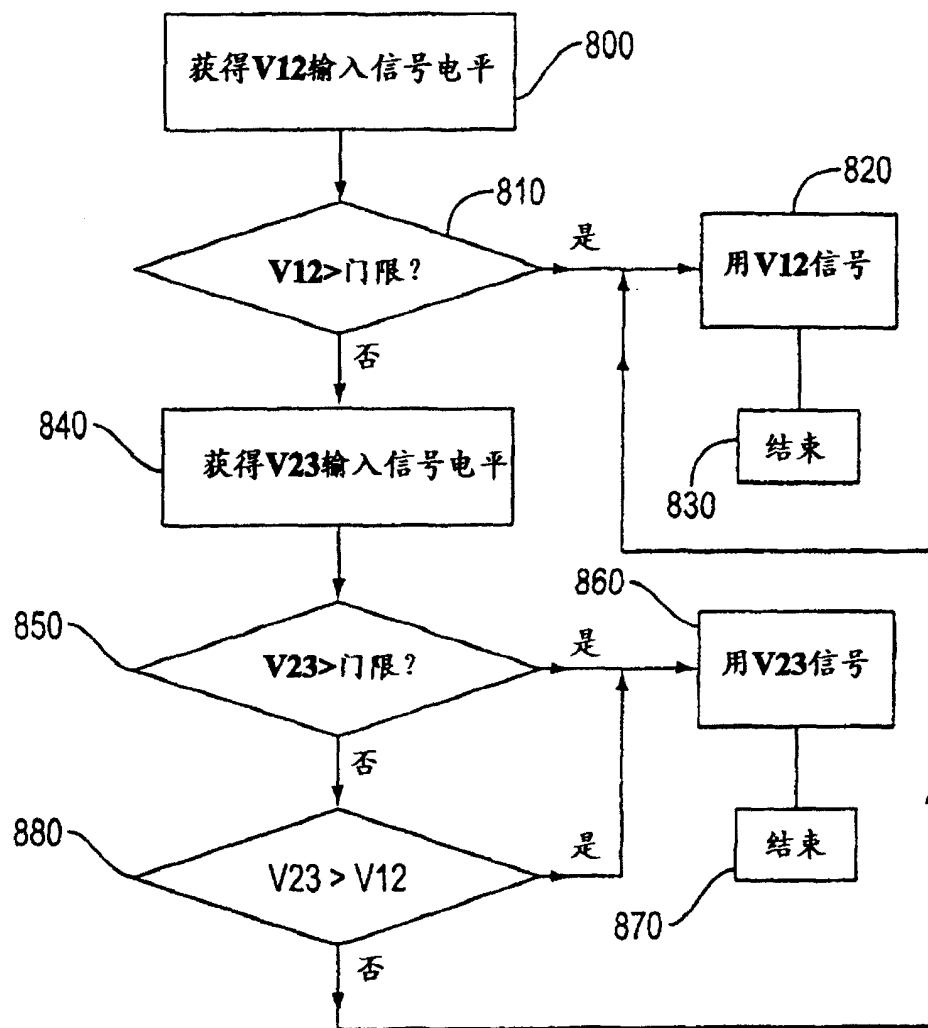


图 9

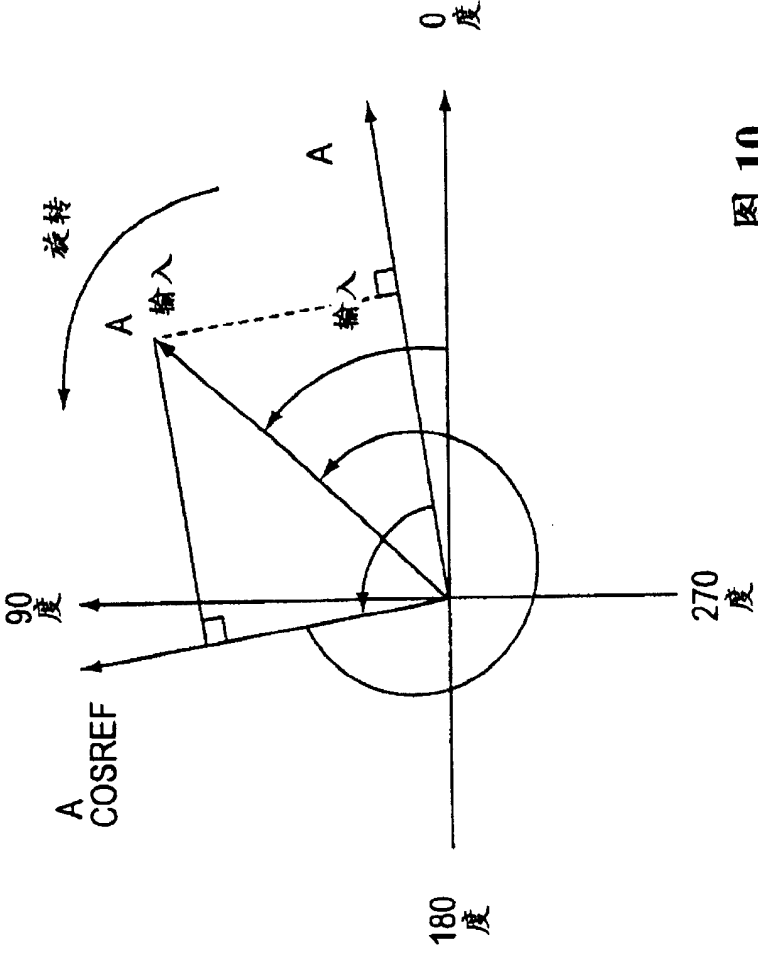


图 10