



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102032242 B

(45) 授权公告日 2013. 02. 20

(21) 申请号 201010586150. 7

CN 102095998 A, 2011. 06. 15,

(22) 申请日 2010. 12. 14

审查员 冯瑶

(73) 专利权人 西安建筑科技大学

地址 710055 陕西省西安市雁塔路 13 号

(72) 发明人 谷立臣 刘沛津 雷鹏 王楠

(74) 专利代理机构 西安恒泰知识产权代理事务

所 61216

代理人 李郑建

(51) Int. Cl.

F15B 21/00 (2006. 01)

F15B 19/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 7183952 B1, 2007. 02. 27,

CN 1945959 A, 2007. 04. 11,

CN 101332834 A, 2008. 12. 31,

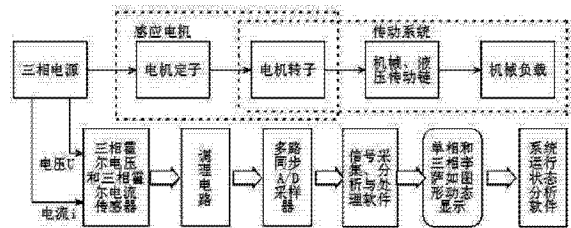
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 8 页

(54) 发明名称

基于电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于三相电参量信息融合的电机驱动液压系统运行状态在线监测方法,该方法采用非侵入式测量,将驱动电机定子的电压、电流信号用李萨如图产生单相及三相信息融合方法;充分利用电气参量提供的幅值、相位信息、相间和相序信息绘制平面和立体李萨如图,计算电参量与椭圆各特征量之间关系,通过观测椭圆图形面积、形状、旋转方向以及比例的变化实现对电机拖动系统中电机、液压、机械等传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配情况进行在线监测。而且可直接对液压系统中的电机、机械和液压故障进行分类判别,为精确诊断和节能控制提供可靠依据。



1. 基于电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法,其特征在于,该方法采用非侵入式测量方式,将驱动电机定子的电压、电流信号用李萨如图产生单相及三相信息融合方法;充分利用电参量提供的幅值、相位信息、相间和相序信息绘制平面和立体李萨如图,计算电参量与椭圆各特征量关系,通过观测椭圆图形面积、形状、旋转方向以及比例的变化实现对电机拖动系统中电机、液压、机械传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配情况进行实时监测,并能对拖动系统中的电机、机械和液压故障进行分类判别;具体步骤如下:

1) 用霍尔传感器同时获取电动机定子三相电压  $u$ 、电流  $i$  动态模拟电信号,经过调理电路处理后送入 A/D 采样器获得三相数字电信号  $\{u_j(n), i_j(n), (j = a, b, c; n = 0, 1, 2, \dots, N)\}$ ,以电压  $u_j(n)$  为横坐标、电流  $i_j(n)$  为纵坐标实时绘制单相和三相李萨如图形;

2) 单相电参量李萨如图融合方法:

设相电压、电流信号分别为

$$\begin{cases} u_j = x = B \cos(\omega t + \psi_u) \\ i_j = y = A \cos(\omega t + \psi_i) \end{cases} \quad (1)$$

将(1)式的电压信号相位加  $90^\circ (\frac{\pi}{2})$ ,即

$$\begin{cases} u = x = B \cos(\omega t + \psi_u + 90^\circ) \\ i = y = A \cos(\omega t + \psi_i) \end{cases} \quad (2)$$

令  $\varphi = \psi_u - \psi_i$ ,  $\varphi' = \varphi + 90^\circ$ ,其中  $\varphi$  为相电流和相电压的相位差,  $\cos \varphi$  为功率因数;

将(2)式中的  $\omega t$  消去,得到以下方程:

$$\frac{x_2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi' + \frac{y^2}{A^2} - \sin^2 \varphi' = 0 \quad (3)$$

$$\frac{x_2}{B^2} + \frac{2xy}{AB} \sin \varphi + \frac{y^2}{A^2} - \cos^2 \varphi = 0 \quad (4)$$

(4) 式在笛卡尔坐标平面内轨迹为一中心位于原点的椭圆,称为电压、电流的李萨如图方程式,由此方程绘制的平面图称为单相电参量李萨如图;

3) 三相电参量李萨如图融合方法

将三相电 a、b、c 相的单相李萨如图等间距地表示在同一坐标系中,依次将三相李萨如图中相对应的点相连,同时以三相椭圆的最大的外接矩形为基准,绘出三相椭圆的外接矩形,三相椭圆、外接矩形及其连线的变化可监测三相电机及其传动系统的运行状态;

同时,应用对称分量法,将三相电压、电流分解为正序、负序、零序分量,电机中性点非接地时,零序电流为零,正常情况下,电机三相电源及电机结构基本对称,负序分量很小,因此由负序电压及负序电流组成的李萨如图几乎为一个点;

其次,进一步将电机定子绕组三相电流分解到两相静止坐标系下,三相电流对称时,所对应的两相电流幅值相等,相位相差  $90^\circ$ ,因此其李萨如图为一标准的圆;

用上述的三相电参量李萨如图融合方法综合监测并分析,得到准确和可靠的液压系统状态检测和故障诊断信息。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述的李萨如图进行单相及三相电参量信息融合方法有以下三种方式:

1) 将三相电 a、b、c 相李萨如图置于同一坐标系下,并将相对应的点连接,同时以三相椭圆的最大的外接矩形为基准,绘出三相椭圆的外接矩形;

2) 将三相电压、电流进行对称分量法转换,用单相的融合方法将负序电压、电流进行融合;

3) 将三相电流转换到两相静止坐标系下,并用李萨如图方法进行融合;

三种融合方法融合后的图形中包含了电机拖动系统中电机、液压、机械传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配状况全面、有效的信息。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述的电参量与椭圆各特征量关系以及电机拖动系统运行状态与椭圆特征量关系如下:

1) 椭圆轨迹旋向:椭圆轨迹旋向为顺时针时,电压滞后于电流;椭圆轨迹旋向逆时针时,电压超前于电流;对于变工况负荷,当椭圆轨迹旋向为顺时针时,异步电机为发电工况;当椭圆轨迹旋向为逆时针时,异步电机为电动工况;因此可根据椭圆轨迹旋向判断负荷性质;

2) 椭圆面积:通过分析可得到椭圆面积  $S_{\text{椭圆}} = \pi P_p = \frac{\pi}{3} P$ , 其中  $P_p$  为单相平均有功功率,  $P$  为三相有功功率,可见椭圆面积随电机有功功率成正比关系变化;

3) 椭圆倾角:通过分析可得到椭圆倾角  $\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2AB \sin \varphi}{A^2 - B^2}$ , 在无电气故障时,负荷变化对  $\theta$  的影响十分显著;

4) 椭圆外接矩形:外接矩形的边长的一半分别代表了 x 轴和 y 轴的最大值, y 轴的最大值为电流幅值, x 轴的最大值为电压幅值;通过椭圆外接矩形的参量变化可以直观反映电压、电流信号幅值的变化规律;通过分析亦可得到  $S = \frac{S_{\text{外接矩形}}}{2}$ , 其中  $S$  为电机视在功率,即容量,  $S_{\text{外接矩形}}$  为椭圆外接矩形的面积;可见外接矩形的面积为输入视在功率的 2 倍,即外接矩形的面积变化可以直接反映电机视在功率的变化规律。

## 基于电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于液压系统状态监测与故障诊断领域,涉及一种基于三相电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法,可适用于动力源是电机驱动的所有液压设备的状态监测及故障诊断中。

### 背景技术

[0002] 液压系统以其快速响应、大功率、高性能及易于远程操作与控制等特点,被作为一种主要传动装置广泛应用于各种机械设备中。随着自动化程度的不断提高,液压设备的结构和信息传递过程越来越复杂,已经成为机电液一体化的综合体、自动化信息集成体,液压设备的节能控制以及故障早期预防、预报和诊断成为亟待解决的技术难题。

[0003] 液压设备在运行过程中,其机、电、液(流体)参数是动态变化的,且相互耦合,这些参数能从不同的角度(信息空间)不同程度地反应设备的设计制造水平和运行状态。若要全面了解设备的设计制造水平和运行状态,必须结合工况全面分析机电液参数的变化过程如:电流、电压、振动、力、扭矩、转速、压力、流量等,对这些动态参数的观测大都采用嵌入式测量方法。由于这些参数测量成本高、不易获取、特征信息有限且易被干扰,又大多属于非平稳信号,给工程应用带来很多困难,且有一定局限性。

[0004] 申请人通过长期的理论分析和大量试验发现:在电机拖动的液压设备中,由于定转子系统的耦合作用,有关液压设备状况、负荷变化以及设计缺陷等特征信息会通过机械和流体参数耦合到电机的三相电参数中,但电机的三相交流电参数都是复数,不仅有幅值而且还有方向的变化。现有的利用电机电参数进行设备状态监测的方法(包括我们以前的研究成果)没有找到一种实用的方法将电机三相电参数的幅值和相位信息进行融合,不能直观、全面、可靠、在线了解液压设备的运行状态。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术存在的以上问题,本发明的目的在于,提供一种基于电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法,对液压设备进行在线状态监测、故障诊断及负荷性质和工况分析,并为研究液压系统的节能设计和优化工况提供科学依据。

[0006] 为了实现上述任务,本发明采取如下的技术解决方案:

[0007] 一种基于电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法,其特征在于,该方法采用非侵入式测量方式,将驱动电机定子的电压、电流信号用李萨如图产生单相及三相信息融合方法;充分利用电气参量提供的幅值、相位信息、相间和相序信息绘制平面和立体李萨如图,计算电参量与椭圆各特征量关系,通过观测椭圆图形面积、形状、旋转方向以及比例的变化实现对电机拖动系统中电机、液压、机械等传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配情况进行实时监测,并能对拖动系统中的电机、机械和液压故障进行分类判别。

[0008] 具体步骤如下:

[0009] 1) 用霍尔传感器同时获取电动机定子三相电压  $u$ 、电流  $i$  动态模拟电信号, 经过调理电路处理后送入 A/D 采样器获得三相数字电信号  $\{u_j(n), i_j(n), (j=a, b, c, n=0, 1, 2, \dots, N)\}$  以电压  $u_j(n)$  为横坐标、电流  $i_j(n)$  为纵坐标实时绘制单相和三相李萨如图形;

[0010] 2) 单相电参量李萨如图融合方法:

[0011] 设相电压、电流信号分别为

$$[0012] \begin{cases} u_j = x = B \cos(\omega t + \psi_u) \\ i_j = y = A \cos(\omega t + \psi_i) \end{cases} \quad (1)$$

[0013] 将(1)式的电压信号相位加  $90^\circ(\frac{\pi}{2})$ , 即

$$[0014] \begin{cases} u = x = B \cos(\omega t + \psi_u + 90^\circ) \\ i = y = A \cos(\omega t + \psi_i) \end{cases} \quad (2)$$

[0015] 令  $\varphi = \psi_u - \psi_i$ ,  $\varphi' = \varphi + 90^\circ$ , 其中  $\varphi$  为相电流和相电压的相位差,  $\cos \varphi$  为功率因数;

[0016] 将(2)式中的  $\omega t$  消去, 得到以下方程:

$$[0017] \frac{x_2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi' + \frac{y^2}{A^2} - \sin^2 \varphi' = 0 \quad (3)$$

$$[0018] \frac{x_2}{B^2} + \frac{2xy}{AB} \sin \varphi + \frac{y^2}{A^2} - \cos^2 \varphi = 0 \quad (4)$$

[0019] (4) 式在笛卡尔坐标平面内轨迹为一中心位于原点的椭圆, 称为电压、电流的李萨如图方程式, 由此方程绘制的平面图称为单相电参量李萨如图;

[0020] 3) 三相电参量李萨如图融合方法

[0021] 将三相电 a、b、c 相的单相李萨如图等间距地表示在同一坐标系中, 依次将三相李萨如图中相对应的点相连, 同时以三相椭圆的最大的外接矩形为基准, 绘出三相椭圆的外接矩形, 三相椭圆、外接矩形及其连线的变化可监测三相电机及其传动系统的运行状态;

[0022] 同时, 应用对称分量法, 将三相电压、电流分解为正序、负序、零序分量, 电机中性点非接地时, 零序电流为零, 正常情况下, 电机三相电源及电机结构基本对称, 负序分量很小, 因此由负序电压及负序电流组成的李萨如图几乎为一个点;

[0023] 其次, 进一步将电机定子绕组三相电流分解到两相静止坐标系下, 三相电流对称时, 所对应的两相电流幅值相等, 相位相差  $90^\circ$ , 因此其李萨如图为一标准的圆;

[0024] 用上述的三相电参量的融合方法综合监测并分析, 得到准确和可靠的液压系统状态监测和故障诊断信息。

[0025] 上述李萨如图进行单相及三相电参量信息融合方法有以下三种方式:

[0026] 1) 将三相电的 a、b、c 相李萨如图置于同一坐标系下, 并将相对应的点连接, 同时

以三相椭圆的最大的外接矩形为基准,绘出三相椭圆的外接矩形;

[0027] 2) 将三相电压、电流进行对称分量法转换,用单相的融合方法将负序电压、电流进行融合;

[0028] 3) 将三相电流转换到两相静止坐标系下,并用李萨如方法进行融合;

[0029] 三种融合方法融合后的图形中包含了液压系统中电机、液压、机械等传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配状况全面、有效的信息。

[0030] 本发明的基于三相电参量信息融合的电机驱动液压系统运行状态在线监测方法所带来的技术效果是:

[0031] 1、与机械振动、流体压力和流量等动态信号相比,电机定子三相电流和电压信号的幅值和相位对液压系统运行状态最敏感,蕴藏着反映电动机、液压泵以及机械装置运行状态的特征信息,且具有平稳、信噪比高、易获取等优点。

[0032] 2、采用非侵入式的测量方法,将电机电压、电流信号的幅值和相位信息用李萨如图进行单相及三相融合分析,计算电参量与椭圆各特征量关系,通过计算椭圆图形面积、形状、旋转方向、旋转角度以及比例的变化实现对液压系统中电机、液压、机械等传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配情况进行实时监测,并能对拖动系统中的电机、机械和液压故障进行分类判别,为精确诊断和节能控制提供可靠依据。

[0033] 3、根据本方法形成的单相李萨如图轨迹旋向可判定负载性质,李萨如图面积可直接反应负载功率的大小及变化规律,根据所形成的椭圆的旋向及倾角变化规律,可直观监测并判断加载、减载、冲击、过载等液压系统典型工况;另外,根据本方法形成三相电压、电流李萨如图与负序电压及负序电流的李萨如图,三相定子电流对应于静止二维坐标系下电流李萨如图相结合,可提取更多的特征信息,不仅可以直观反映系统运行状态,而且可直接对典型电气故障做出初步判断,亦可分别判别液压设备电气故障及机械故障,为精密诊断提供更加可靠的依据。

[0034] 4、通常,系统在额定工作点平稳运行时具有最高效率,因此液压动力系统设计往往以此为出发点,并对功率输出装置留有一定的功率储备,但液压设备的负荷随工况瞬时变化,电机的功率控制策略如何适应工况和负荷的变化,目前没有可视化的监测技术能在线观察电机和负荷瞬时功率的匹配状况。根据本方法可以在液压设备运行过程中对工况和负荷功率进行在线监测并使其与电机实现自适应匹配控制策略,进而达到节能目的,具有重要的实际应用价值。

#### 附图说明

[0035] 图 1 是基于电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法原理图;

[0036] 图 2 为电参量的单相李萨如图;

[0037] 图 3 为电参量的三相李萨如图;

[0038] 图 4 为正常运行下负序电压电流李萨如图;

[0039] 图 5 是三相电流在静态二维坐标系下的李萨如图;

[0040] 图 6(a+) 为液压系统加载 0 ~ 15M,电机 a 相电压电流李萨如图变化规律;

[0041] 图 6(a-) 为液压系统加载 15Mpa ~ 0 全过程,电机 a 相电压电流李萨如图变化规律;

- [0042] 图 6(b+) 为液压系统加载 0 ~ 15Mpa 全过程, 电机 b 相电压电流李萨如图变化规律;
- [0043] 图 6(b-) 为液压系统卸载 15Mpa ~ 0 全过程, 电机 b 相电压电流李萨如图变化规律;
- [0044] 图 6(c+) 为液压系统加载 15Mpa ~ 0 全过程, 电机 c 相电压电流李萨如图变化规律;
- [0045] 图 6(c-) 为液压系统卸载 15Mpa ~ 0 全过程, 电机 c 相电压电流李萨如图变化规律;
- [0046] 图 7 为液压系统加卸载工况下李萨如图面积、旋转角度和方向、外接矩形面积以及功率因数等特征量变化规律;
- [0047] 图 8 为液压系统发生超载溢流时李萨如图形特征量分析结果;
- [0048] 图 9 为液压系统多次承受冲击负荷运行时三相李萨如图形特征;
- [0049] 图 10 为液压系统电机在缺相(c 相断线) 状态运行时, 三相李萨如图特征;
- [0050] 图 11 为液压系统电机在短路(a 相短路) 状态运行时, 三相李萨如图特征。
- [0051] 以下结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

### 具体实施方式

[0052] 如图 1 所示, 本发明的基于电参量信息融合的液压系统运行状态在线监测方法采用非侵入式测量方式, 将驱动电机定子的电压、电流信号(以空载运行电压、电流信号为基准值, 取运行电压、电流信号与基准值的比值) 用李萨如图产生单相及三相信息融合方法。充分利用电气参量提供的幅值、相位信息、相间和相序信息绘制平面和立体李萨如图, 计算电参量与椭圆各特征量关系, 通过计算李萨如图图形面积、形状、旋转方向、旋转角度以及比例的变化实现对液压设备中电机、液压、机械等传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配情况进行实时监测, 并能对液压设备中的电机、机械和液压故障进行分类判别, 为精确诊断和节能控制提供可靠依据。

[0053] 具体步骤如下:

[0054] 1) 见图 1, 用霍尔传感器同时获取电动机定子三相电压  $u$ 、电流  $i$  模拟电信号(电参量), 经过调理电路处理后送入 A/D 采样器获得三相电参数的六通道数字电信号  $\{u_j(n), i_j(n), (j=a, b, c, n=0, 1, 2, \dots, N)\}$ , 以电压  $u_j(n)$  为横坐标、电流  $i_j(n)$  为纵坐标实时绘制单相和三相李萨如图形。

[0055] 2) 单相电参量李萨如图融合方法

[0056] 设相电流、电压信号分别为

$$[0057] \quad \begin{cases} i_j = x = A \cos(\omega t + \psi_i) \\ u_j = y = B \cos(\omega t + \psi_u) \end{cases} \quad (1)$$

[0058] 将(1)式的电压信号相位加  $90^\circ$ , 即

$$[0059] \quad \begin{cases} i = x = A \cos(\omega t + \psi_i) \\ u = y = B \cos(\omega t + \psi_u + 90^\circ) \end{cases} \quad (2)$$

[0060] 令  $\varphi = \psi_u - \psi_i$ ,  $\varphi' = \varphi + 90^\circ$ , 其中  $\varphi$  为相电流和相电压的相位差,  $\cos \varphi$  为功率因数。

[0061] 将(2)式中的  $\omega t$  消去, 得到方程

$$[0062] \quad \frac{x_2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi' + \frac{y^2}{A^2} - \sin^2 \varphi' = 0 \quad (3)$$

$$[0063] \quad \frac{x_2}{B^2} + \frac{2xy}{AB} \sin \varphi + \frac{y^2}{A^2} - \cos^2 \varphi = 0 \quad (4)$$

[0064] (4)式在笛卡尔坐标平面内轨迹为一中心位于原点的椭圆, 如图2所示, 可称为电压、电流的李萨如图式, 由此方程绘制的平面图称为单相电参量李萨如图。

[0065] 3) 三相电参量李萨如图融合方法

[0066] 如图3所示, 将a、b、c相的单相李萨如图等间距地表示在同一坐标系中, 依次将三相李萨如图中相对应的点相连, 同时以三相椭圆的最大的外接矩形为基准, 绘出如图3所示的三相椭圆的外接矩形。三相椭圆、外接矩形及其连线的变化可监测三相电机及其传动系统的运行状态。同时, 应用对称分量法, 将三相电压、电流分解为正序、负序、零序分量, 电机中性点非接地时, 零序电流为零, 正常情况下, 电机三相电源及电机结构基本对称, 负序分量很小, 因此由负序电压及负序电流组成的李萨如图几乎为一个点, 如图4所示。其次, 进一步将电机定子绕组三相电流分解到两相静止坐标系下, 三相电流对称时, 所对应的两相电流幅值相等, 相位相差90度, 因此其李萨如图为一标准的圆, 如图4所示。

[0067] 用上述的三相电参量的融合方法综合监测并分析, 与单相电参量融合比较, 三相电参量的融合因为包含了运行电机更全面的电参数信息量, 通过对信息的优化组合可导出更多的有效信息, 降低信息的不确定性。

[0068] 2、利用李萨如图进行单相及三相电参量信息融合有三种方式:

[0069] 1) 将a、b、c相李萨如图置于同一坐标系下, 并将相对应的点连接, 同时以三相椭圆的最大的外接矩形为基准, 绘出三相椭圆的外接矩形。

[0070] 2) 将三相电压、电流进行对称分量法转换, 用单相的融合方法将负序电压、电流进行融合。

[0071] 3) 将三相电流转换到两相静止坐标系下, 并用李萨如图方法进行融合。

[0072] 三种方法融合后的图形中包含了电机拖动系统中电机、液压、机械等传动装置的运行状态、运行工况、负载功率以及功率匹配状况全面、有效的特征信息。

[0073] 3、三相电参量与椭圆各特征量关系以及液压设备运行状态与椭圆特征量关系如下:

[0074] 1) 椭圆轨迹旋向: 椭圆轨迹旋向为逆时针时, 电压滞后于电流; 椭圆轨迹旋向顺时针时, 电压超前于电流。对于变工况负荷, 当椭圆轨迹旋向为顺时针时, 异步电机为电动工况; 当椭圆轨迹旋向为逆时针时, 异步电机为发电工况。因此可根据椭圆轨迹旋向判断负



荷性质及储能元件特性。

[0075] 2) 椭圆面积 :通过分析可得到椭圆面积  $S = \pi P_p = \frac{\pi}{3} P$ , 其中  $P_p$  为单相平均有功功率,  $P$  为三相有功功率, 可见椭圆面积随电机有功功率成正比关系变化。

[0076] 3) 椭圆倾角 :通过分析可得到椭圆倾角  $\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2AB \sin \varphi}{B^2 - A^2}$ , 在无电气故障时, 负荷变化对  $\theta$  的影响十分显著。

[0077] 4) 椭圆外接矩形 :外接矩形的边长的一半分别代表了 x 轴和 y 轴的最大值, y 轴的最大值为电流幅值, x 轴的最大值为电压幅值 ;通过椭圆外接矩形的参量变化可以直观反映电压、电流信号幅值的变化规律。通过分析亦可得到  $P_s = \frac{S_{\text{外接矩形}}}{2}$ , 其中  $P_s$  为电机视在

功率, 即容量, 可见外接矩形的面积为输入视在功率的 2 倍, 即外接矩形的面积变化可以直接反映电机视在功率的变化。

[0078] 上面给出了基于李萨如图的电机定子三相电压、电流信息融合方法, 并给出了具体融合步骤和计算方法, 以及液压系统运行状态与椭圆特征量的关系。适用于所有电机拖动液压系统的在线状态监测及故障诊断。以下给出一个具体的实施例, 该实施例为三相异步电机拖动的液压系统运行状态在线监测。该液压系统实验装置原理及实验方法参见国家知识产权局专利局 2010 年 1 月发布的专利申请号 200810232493.6, 名称为“液压设备多源诊断信息获取实验装置及其实验方法”发明专利说明书。

[0079] 在该实验装置上, 申请人利用本发明的方法分别进行了三相异步电机拖动的液动力系统加减负荷、超载溢流、冲击负荷、电机断相和短路实验, 实施结果如下 :

[0080] 1) 电机拖动系统在负荷增加和减少状态运行时, 三相李萨如图特征。如图 6 所示 (实测数据, 未经滤波处理), 液动力系统加减负荷时, 可以看到由本发明方法所形成的驱动电机 a、b、c 三相电参数李萨如图变化情况 :椭圆的面积在加载时逐步增大, 同时椭圆逆时针旋转 (注 :椭圆初始面积由传感器增益确定、椭圆倾角旋转方向与传感器布置有关, 因此实施过程中传感器增益和接线布置要固定不变), 即椭圆倾角增大, 同时也可看出椭圆 x 轴最大值 (电压幅值) 在加载过程中变化很小, 而 y 轴最大值 (电流幅值) 随着加载逐步增大 ;当加载至第 15MP (在 50.4s ~ 51.2s 时间段压力保持 15MP) 时, 系统开始减载, 可以看到此时椭圆面积逐步减小, 同时椭圆顺时针旋转, 即椭圆倾角逐步减小, 且 x 轴最大值不变, y 轴最大值随着减载逐步减小。同时通过形成椭圆的连续三点的判别, 可知椭圆轨迹旋向为顺时针, 即电压相位超前电流相位。

[0081] 通过调节液动力系统溢流阀使系统负荷由  $0 \rightarrow 15MP \rightarrow 0MP$  连续无级变化, 对电压和电流信号采样后用本发明公开的方法在线计算椭圆图形面积、旋转角度和方向、外接矩形面积以及功率因数, 如图 7 所示。

[0082] 2) 电机拖动系统在超载溢流状态运行时, 三相李萨如图特征。当液压系统发生超载溢流时, 用本融合方法得到的李萨如图特征分析结果如图 8 所示。超载试验加载过程的数据分析同加减载试验是一致的, 当到达最大压力时, 系统发生溢流保护, 使得压力不再继续增大, 此时电机负载亦不再继续增大, 所对应的椭圆图形面积、旋转角度和方向、外接矩

形面积以及功率因数亦不再显著变化,如图 8 所示。

[0083] 3)电机拖动系统在冲击负荷状态运行时,三相李萨如图特征。如图 9 所示(实测数据,未经滤波处理),液压系统多次承受冲击负载时,三相李萨如图同时出现椭圆倾角剧烈摆动现象。

[0084] 4) 电机拖动系统在缺相(c 相断线)状态运行时,三相李萨如图特征。如图 10 所示,拖动电机在 c 相缺相状态运行(c 相断线)时,a 相电压最大,c 相最小,a 相与 b 相电流相等,c 相电流为零。可见此时,a 相功率最大,b 相次之。

[0085] 5) 电机拖动系统在短路(a 相短路)状态运行时,三相李萨如图特征。如图 11 所示,电机 a 相短路运行时,a 相电压为零,b 相与 c 相电压相等,均显著大于正常电压,且 a 相电流最大,b 相与 c 相电流相等,亦远大于正常电流。

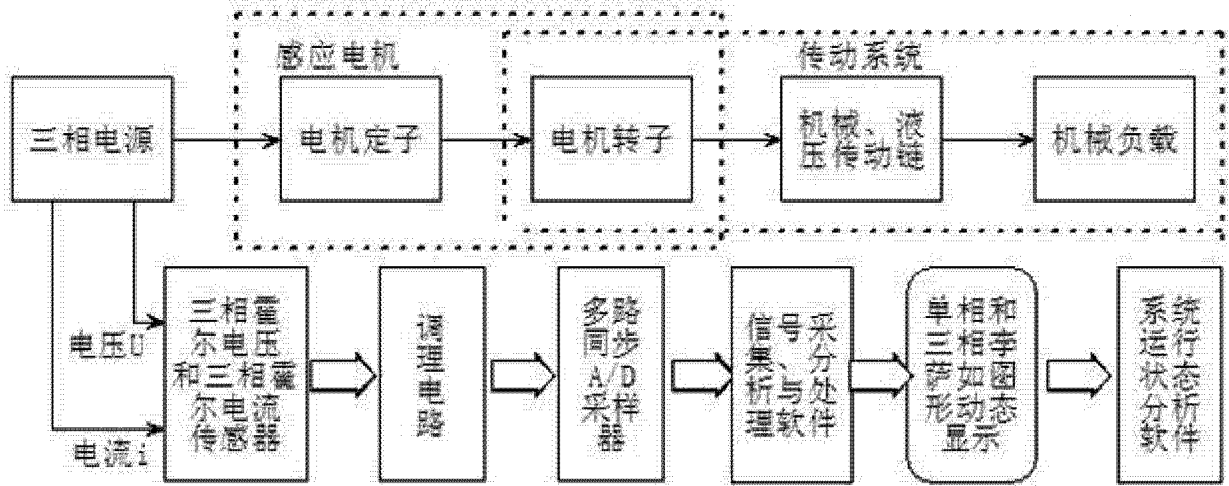


图 1

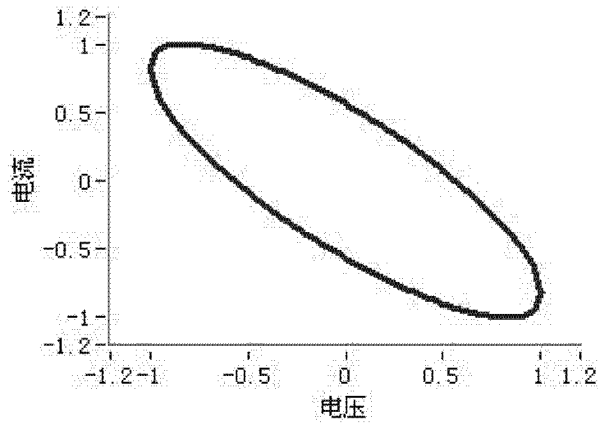


图 2

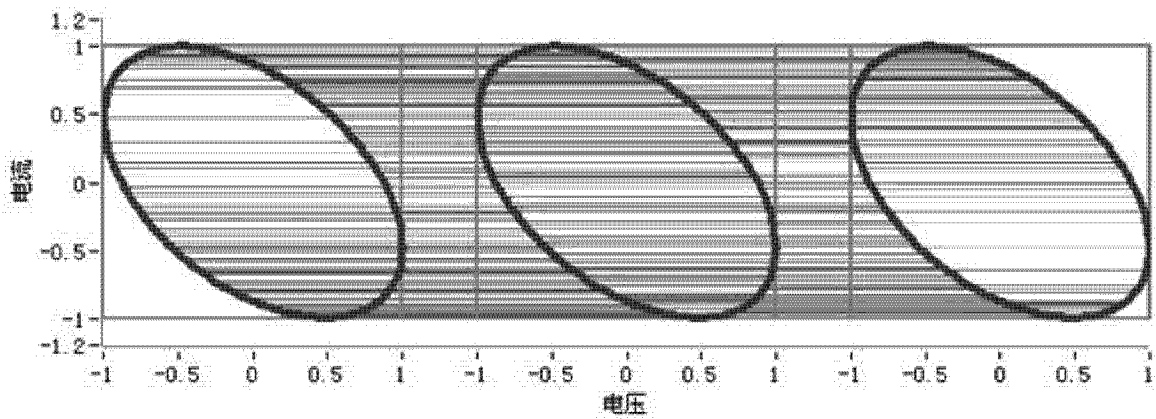


图 3

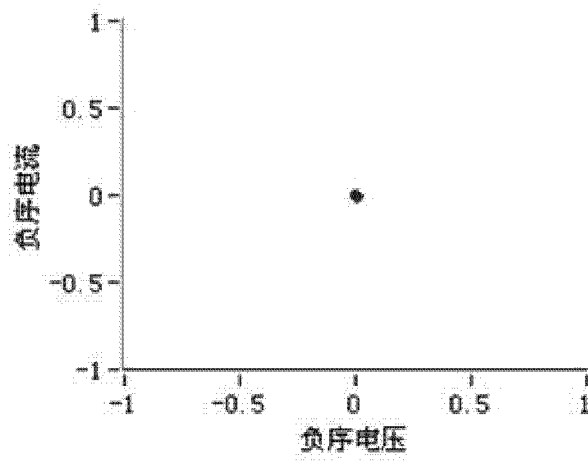


图 4

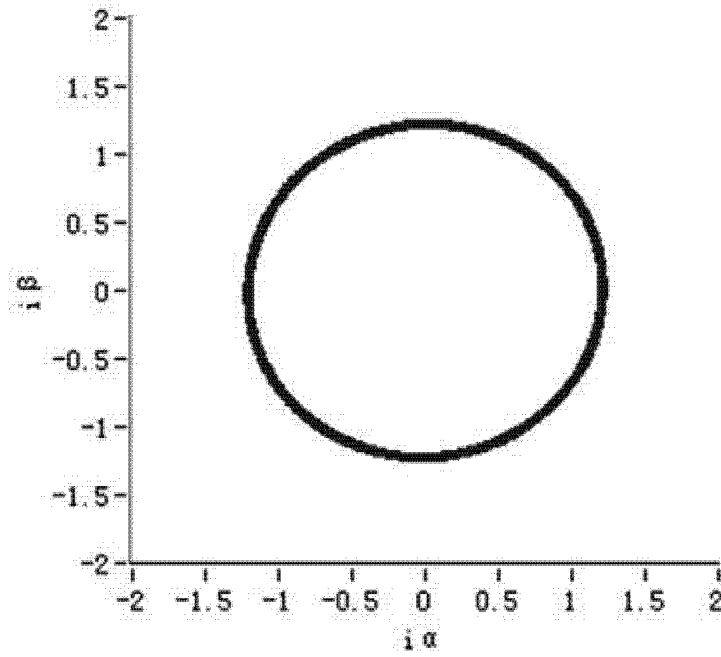


图 5

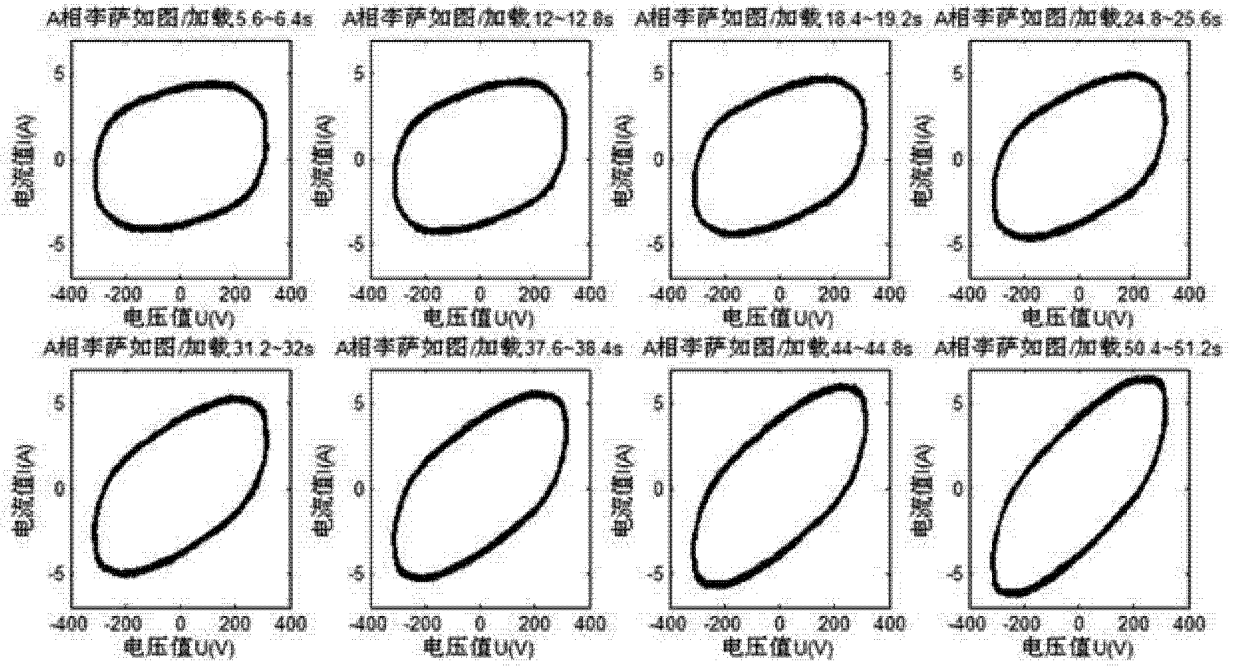


图 6(a+)

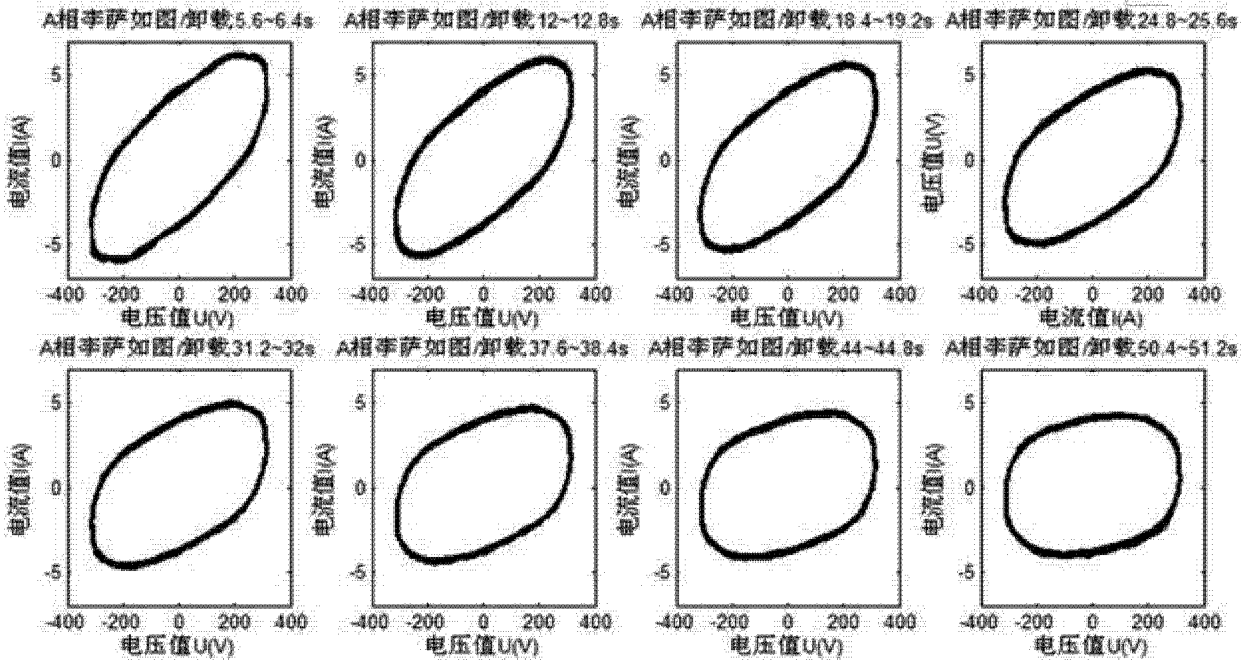


图 6(a-)

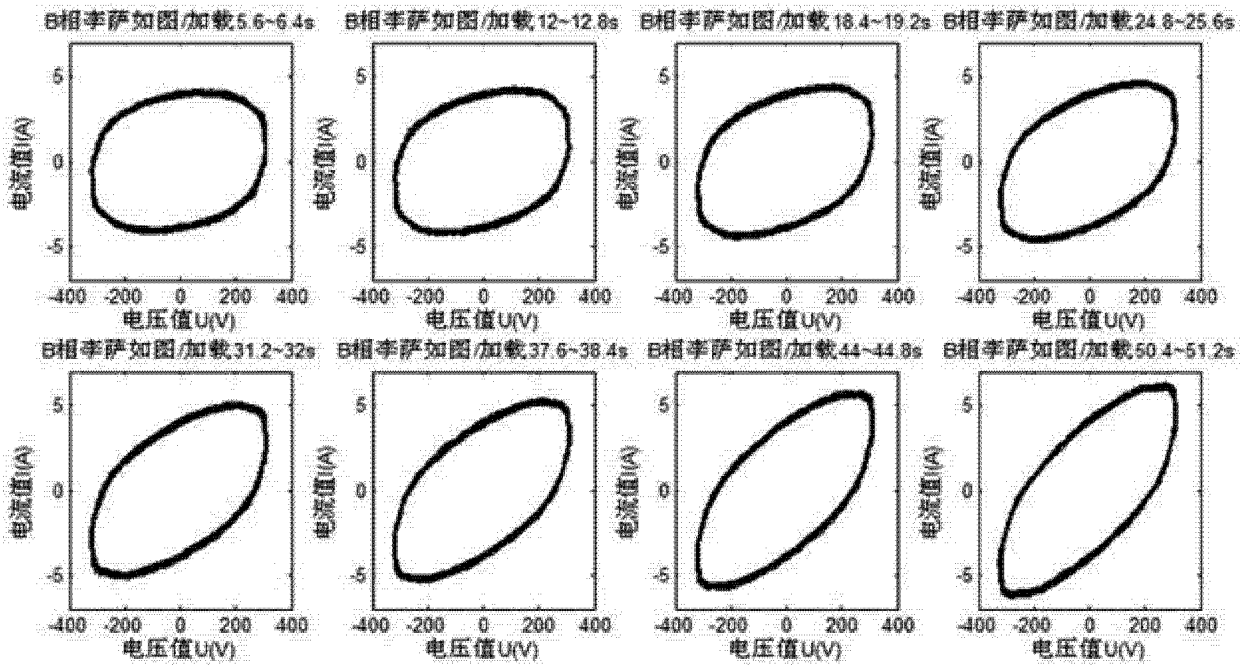


图 6(b+)

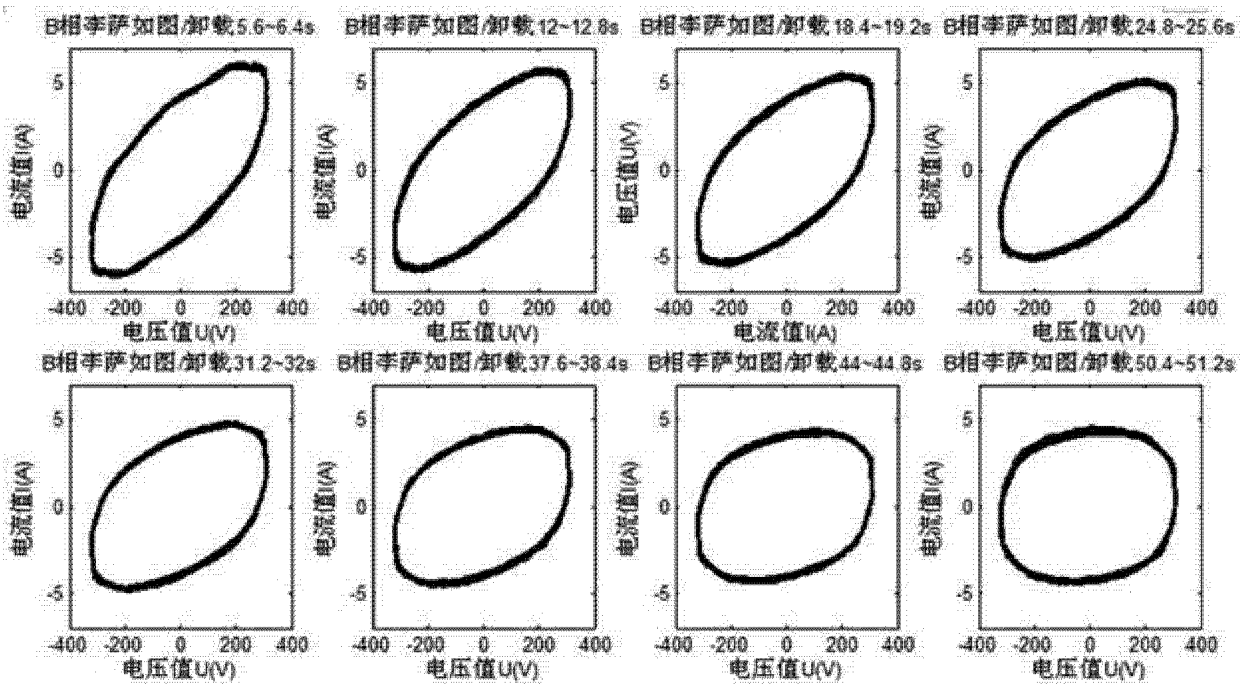


图 6(b-)

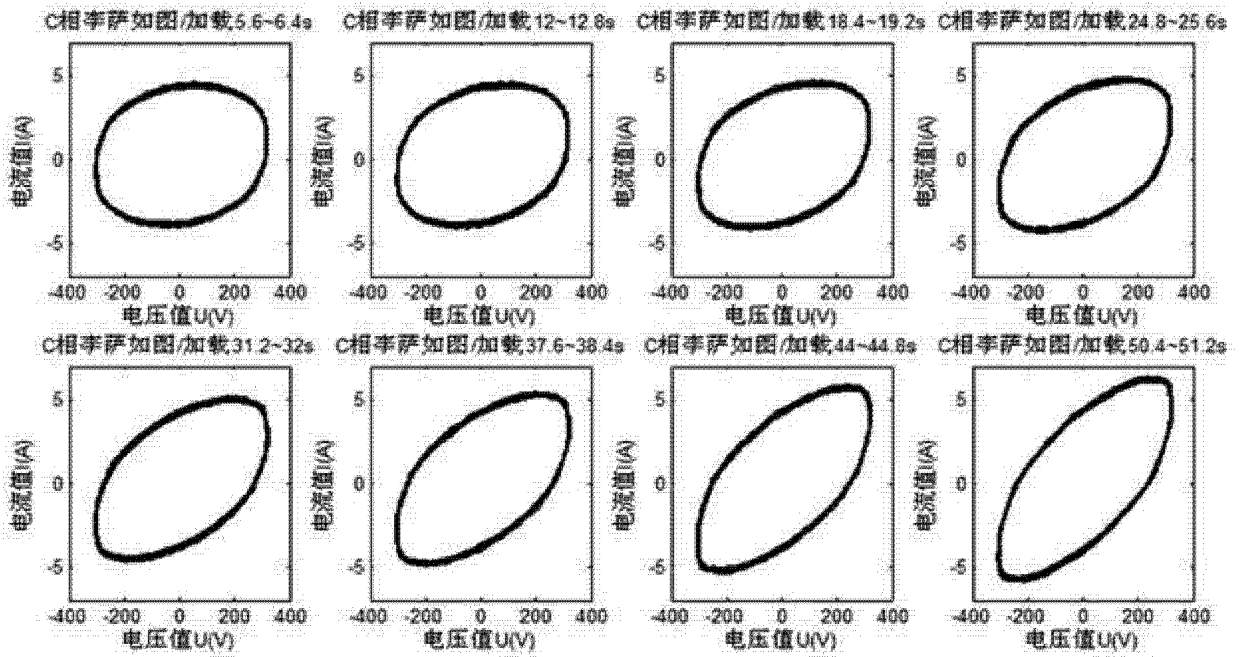


图 6(c+)

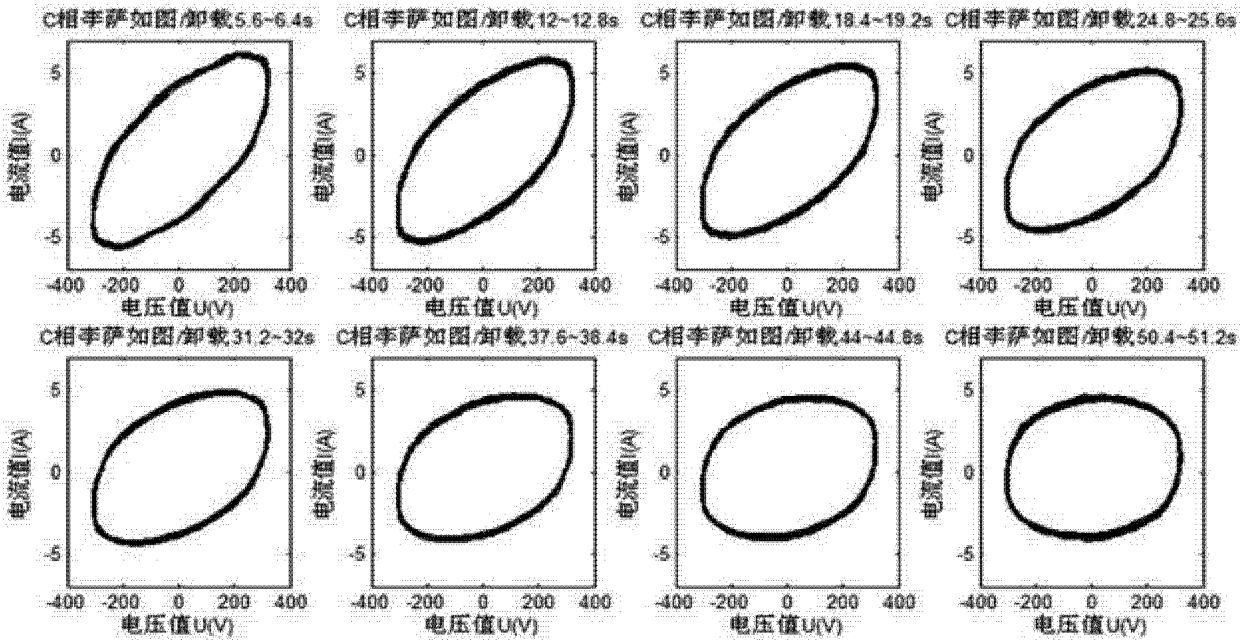


图 6(c-)

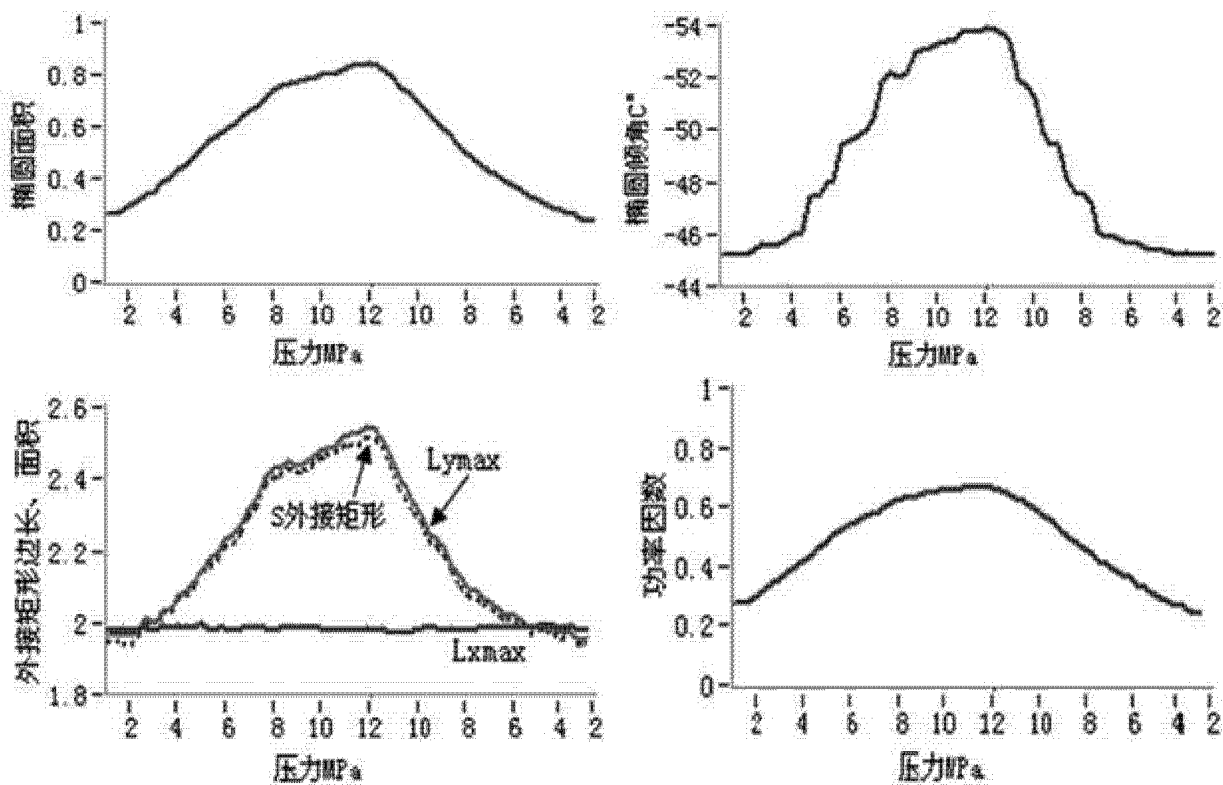


图 7

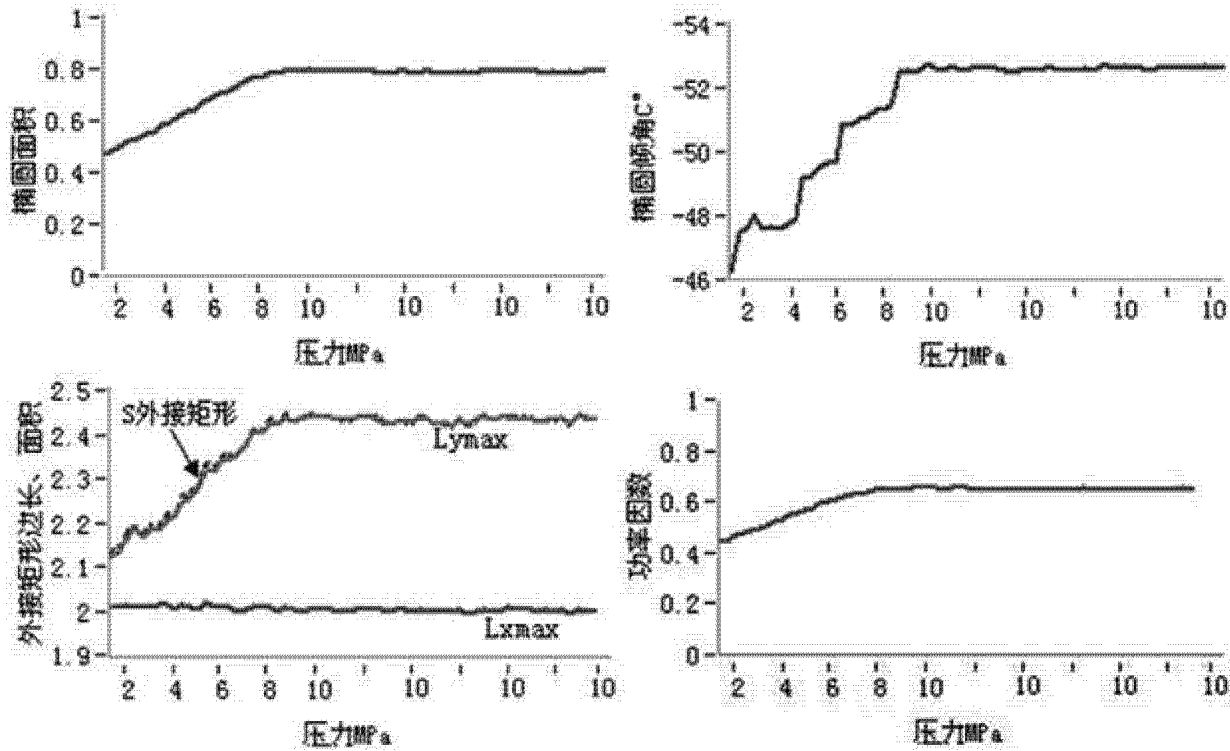


图 8



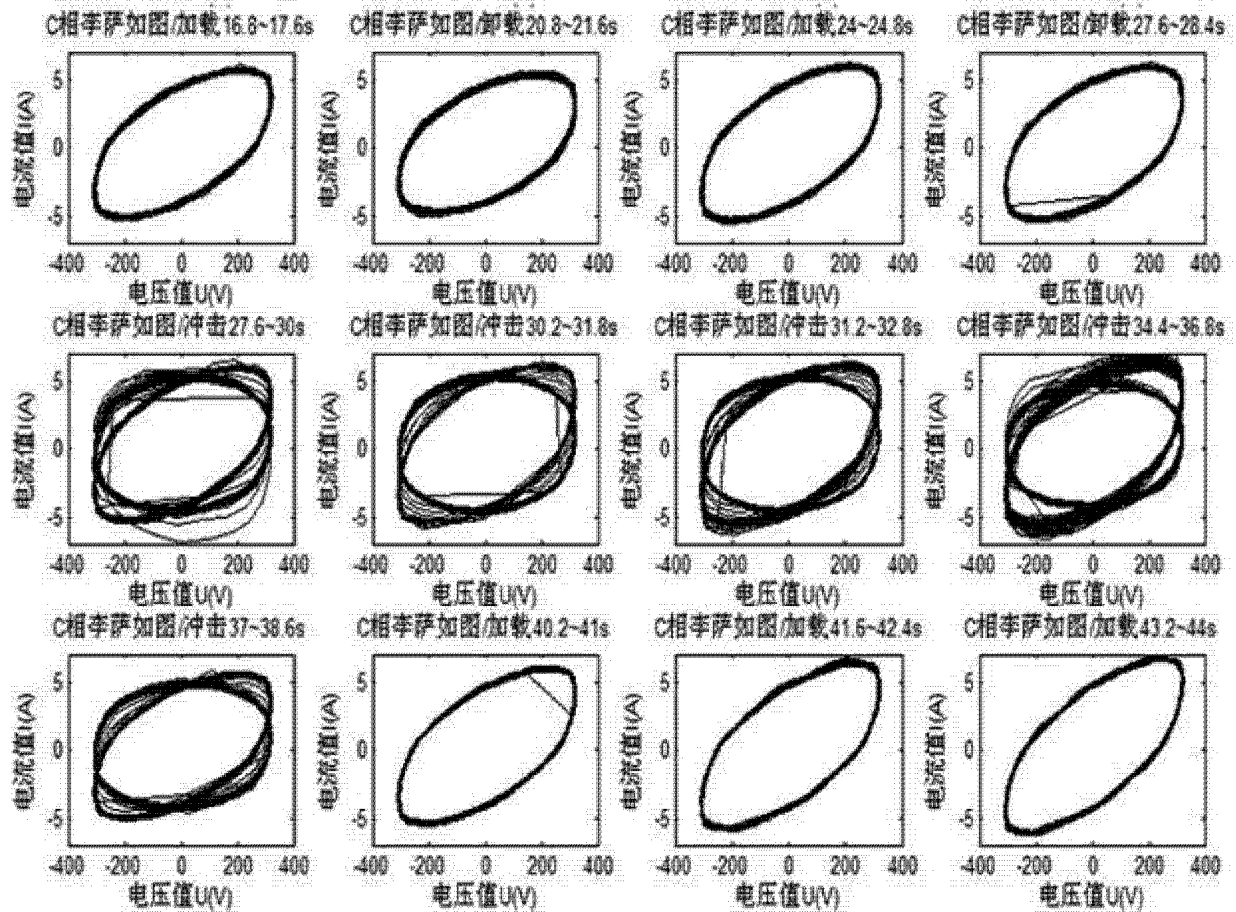


图 9

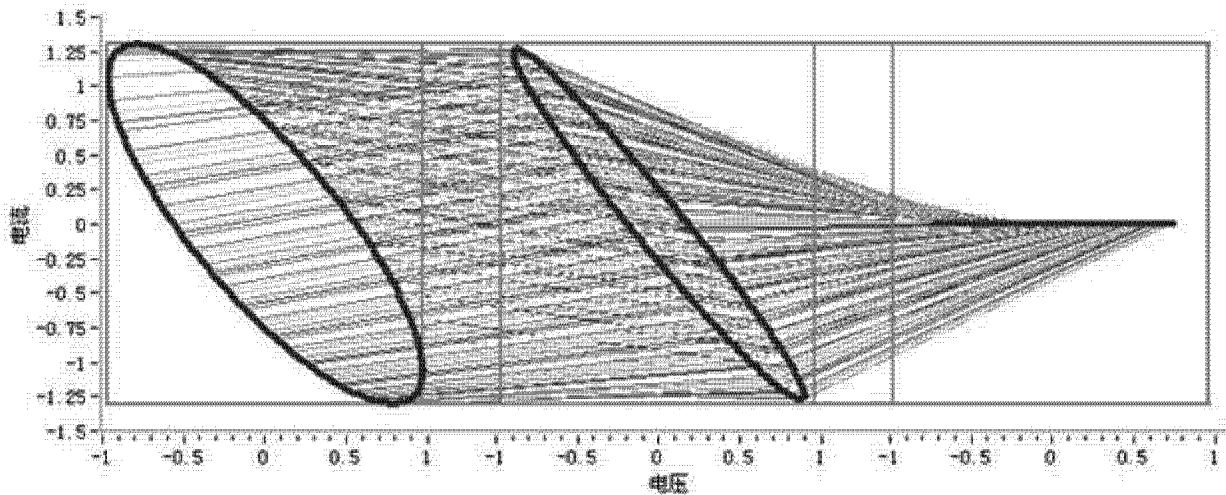


图 10

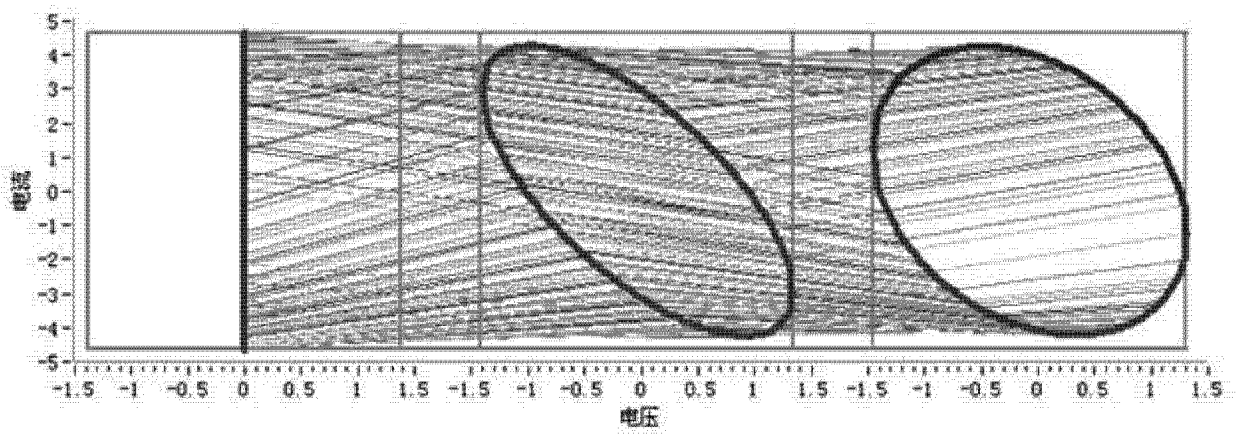


图 11