

基于谐波特征矩阵的负载识别

袁 坤, 高 蒙

(石家庄铁道大学 电气与电子工程学院 河北 石家庄 050043)

摘要: 给出一种基于电流谐波特性矩阵的负载识别方法, 并利用二进制数独立不重复的特性, 给出了求多个数据随机组合计算值的算法。此方法首先采样计算各单一负载的谐波特性, 利用随机组合计算算法得到各种负载组合后的谐波特性矩阵。之后实时地计算当前电网中的电流谐波值, 并将此值与谐波特性矩阵中的数据进行比对, 与吻合数据对应的负载即为当前工作在电网中的负载。此方法在试验中取得了很好的效果。

关键词: 智能供电; 负载识别; 特征矩阵; 组合计算

中图分类号: TP29 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2015)01-0106-05

0 引言

如今电力电子技术的发展, 使用电负载出现了很多革命性的变换, 由以前普遍的阻性负载转变为当前的感性负载、电容性负载和电磁型负载混合出现的新局面。智能供电是用电管理发展的必然趋势, 然而当今新型负载的出现使智能供电困难重重, 新型负载的识别和管理系统的建立迫在眉睫^[1]。

对于接入电网中的负载, 如今的大部分学者都将重点放在了阻性负载的判定上, 而对于接入电网中真正的负载类型并没有有效的方法来进行确定。实际应用中的校园供电系统, 基本使用的都是功率判断方法, 只是简单的通过监控功率来决定对用户的供断电, 这种方法有很多弊端, 不能合理有效的利用电力资源。在查阅了大量文献的基础上, 提出了一种使用电流谐波特性的负载识别方法, 并给出了相应的混合负载谐波特性的组合生成算法, 通过实验确定了该方法的有效性。

1 供电系统负载电流谐波分析

学生公寓用电的等效电路模型如图 1 所示。图中, 假设供电电压为标准正弦波, 即 $u(t) = U\sin \omega t$, 不考虑电路的暂态过程及线路损耗。 Z_2 为非线性负载, 流过 Z_2 的电流为 $i_2(t) = f[u(t)] = f[U\sin \omega t]$; Z_1 为待投入的负载, 可以是线性负载和非线性负载。通过开关 S_1 和 S_2 的动作来表示负载的投入^[2]。

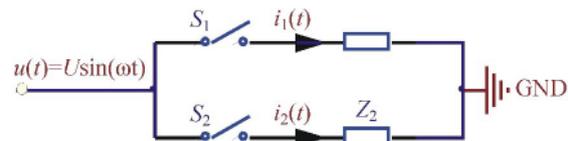


图 1 负载等效电路模型

(1) 当开关 S_1 断开, S_2 闭合时, 流过线路的总电流 $i_L(t) = i_2(t) = f[u(t)] = f[U\sin \omega t]$, 对 $i_2(t)$ 进行傅里叶变换, 可以得到高次谐波的系数为

$$a_{1n} = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} i_2(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} f[U\sin(\omega t)] \cos(n\omega t) dt \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (1)$$

$$b_{1n} = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} i_2(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} f[U\sin(\omega t)] \sin(n\omega t) dt \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (2)$$

(2) 当开关 S_2 断开, S_1 闭合时, 流过线路的总电流 $i_L(t) = i_1(t) = g[u(t)] = g[U\sin(\omega t)]$, 对 $i_1(t)$ 进行傅里叶变换, 可以得到高次谐波的系数为

收稿日期: 2013-10-10 责任编辑: 刘宪福 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.2015.01.22

作者简介: 袁坤(1988-)男, 硕士研究生, 主要研究领域为计算机测控技术。E-mail: yuankun1988@yeah.net

袁坤, 高蒙. 基于谐波特征矩阵的负载识别[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2014, 28(1): 106-110.

$$a_{2n} = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} i_2(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} g [U \sin(\omega t)] \cos(n\omega t) dt \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (3)$$

$$b_{2n} = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} i_2(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} g [U \sin(\omega t)] \sin(n\omega t) dt \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (4)$$

(3) 当开关 S_1 和 S_2 闭合, 则电流同时流过负载 Z_1 和负载 Z_2 。此时供电侧的总电流为 $i_L(t) = i_1(t) + i_2(t) = g [U \sin(\omega t)] + f [U \sin(\omega t)]$ 。对总电流 $i_L(t)$ 进行傅里叶变换, 其高次谐波系数为

$$a_{3n} = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} i_L(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} g [U \sin(\omega t)] \cos(n\omega t) dt + \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} f [U \sin(\omega t)] \cos(n\omega t) dt \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (5)$$

$$b_{3n} = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} i_L(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} g [U \sin(\omega t)] \sin(n\omega t) dt + \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} f [U \sin(\omega t)] \sin(n\omega t) dt \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (6)$$

对比公式 (1) (3) (5) 和 (2) (4) (6) 可以看出, 每一种接入电网的负载, 其电流经过傅里叶变换后都有其固定的谐波系数, 此谐波系数只与用电器的负载特性相关。当两种或者多种负载同时接入电网时, 电网中的总的谐波系数为各个负载谐波系数数值上的和^[3]。

根据以上分析, 可以得出结论: 采样单一运行的负载电流, 并对其进行傅里叶变换可以得到此负载固定的谐波系数。计算多种负载的谐波分量值, 并且计算出任意负载相互组合后的谐波分量, 保存在一个谐波特征矩阵。在含有混合负载的电网中, 对电网电流进行傅里叶变换, 查找比对谐波特征矩阵中的谐波数据, 即可找出当前电网中的负载类型。

2 供电系统电流谐波原始特征矩阵建立

对于非阻性负载的识别, 使用快速傅里叶变换法对其电流进行谐波分析。因为同一种负载的电流在一个周期内是恒定不变的, 因此其傅里叶变换后的谐波频谱也是稳定的。

根据此原理建立一个负载的频谱特征矩阵, 对常见的已知负载的电流采样后进行快速傅里叶变换, 将生成的频谱值存入矩阵中, 当系统接入某负载时, 对此负载的电流进行谐波分析, 并与所建矩阵中的频谱数据进行比对, 若有数据吻合则可以确定此负载的类型。

对于同一类的负载, 比如电冰箱负载, 因其生产厂家和生产型号规格的不同, 其工作时的电流谐波值可能又会有差异, 但是同一类型负载的各次谐波之间的比例值是基本恒定的。因此在表征一类负载时要先将其归一化, 即找出负载各次谐波之间的比例, 这样就可以忽略掉同一类负载之间的差异。本文将负载电流的基波值同一化为 10.000。

表 1 表示的是使用此原理, 对已知负载进行快速傅里叶变换后所得到的负载电流频谱矩阵。矩阵中包含电流与电压的相位差、电流的 3 次谐波值、5 次谐波值、7 次谐波值和 9 次谐波值。

表 1 特征矩阵参数数据表(归一化后)

用电器	相位差	基波	3 次谐波值	5 次谐波值	7 次谐波值	9 次谐波值
达硕主机	79.765	10.000	8.703	6.467	3.887	1.611
美的空调	24.406	10.000	1.477	0.595	0.233	0.268
美的微波炉	56.753	10.000	1.986	1.165	0.912	0.761
容声冰箱	27.873	10.000	2.244	0.786	0.445	0.422

3 供电系统组合负载电流谐波矩阵生成算法

在建立原始特征矩阵后, 得到了一个包含各种单一负载接入时谐波数据表, 但是从实际生活中考虑, 接入电网的负载不可能只会有一种, 同时在电网中运行的负载类型是多样的。因此只使用单一负载的谐波数据表, 并不能表征实际运行时的所有情况。从实际问题考虑, 得到了单一负载的谐波数据表后, 应该同时生成各种负载自由组合时的谐波数据, 即组合负载矩阵。

组合的数学定义是指从给定个数的元素中仅仅取出指定个数的元素,不考虑排序。那么对于每个元素来说就只会存在 2 种状态:被取出和未被取出。这种两状态的模型与数字电子中的 0、1 模型一致,因此本算法就将元素被取出定义为 1,元素未被取出定义为 0。因此,负载矩阵中的负载类型有多少个,那对应的二进制就有多少位。用简单一例加以说明,按本算法对于一个 4 元素的集合 $\{10.1, -5.2, 9.3, -6.4\}$,应用 4 位的二进制数 0000 ~ 1111 来代表整个集合。若二进制数为 0010,则代表在选取指定一个数的组合中取出了第三个元素,即 9.3;若二进制数为 1100,则代表在选取指定两个数的组合中取出了第一个和第二个元素,即 10.1 和 -5.2,其组合数的值为 4.9。以此为思想,本算法先将 4 位二进制数由 0000 依次加 1,经 2^4 次累加到 1111,再将二进制数由 0000 到 1111 按对应位将元素取出,由于这 2^4 个二进制数数值不同,因此其二进制表示也必然不同,即得到了 4 元素集合的所有 2^n 个组合值。结合实际问题, C_4^0 并无实际意义,因此本算法相应的由二进制 0001 提取到 1111,即 $2^n - 1$ 个。综上所述,算法使用位数等同于集合元素个数的二进制数来辅助计算集合所有的组合值,并且其个数为 $2^n - 1$ 个。具体算法如下:

- (1) 首先根据集合中元素的个数 n 生成 n 位的二进制数。
- (2) 将生成的 n 位二进制数逐次累加 1,即由 $00\dots01$ 累加到 $11\dots11$,共累加 $2^n - 1$ 次。
- (3) 判断二进制数中为“1”的值所在的位置,提取相应位置上的元素,将其组合,每一个二进制数有且只有一个组合与之对应。
- (4) 按照工程需要,对生成的组合进行相应的运算。

选取表 1 中所示主机、空调和微波炉的数据来说明本算法。首先提出 3 者的基波、3 次谐波、5 次谐波、7 次谐波和 9 次谐波值,如表 2 所示。之后使用本算法计算其组合矩阵数据,归一化后存入二维数组中,如表 3 所示。

表 2 特征矩阵参数数据表(归一化后)

索引号	用电器	基波	3 次谐波值	5 次谐波值	7 次谐波值	9 次谐波值
1	达硕主机	10.000	8.703	6.467	3.887	1.611
2	美的空调	10.000	1.477	0.595	0.233	0.268
3	美的微波炉	10.000	1.986	1.165	0.912	0.761

表 3 特征矩阵组合数据表(归一化后)

二进制码	索引号	基波	3 次谐波值	5 次谐波值	7 次谐波值	9 次谐波值
000	—	—	—	—	—	—
001	1	10.000	8.703	6.467	3.887	1.611
010	2	10.000	1.477	0.595	0.233	0.268
011	1+2	10.000	5.090	3.531	2.060	0.939
100	3	10.000	1.986	1.165	0.912	0.761
101	1+3	10.000	5.345	3.816	2.407	1.187
110	2+3	10.000	1.731	0.880	0.572	0.522
111	1+2+3	10.000	4.055	2.905	1.682	0.880

4 负载特征矩阵查找算法

对各种已知负载进行采样,建立原始的单一负载谐波特征矩阵,使用组合矩阵生成算法对原始数据进行处理,生成由原始频谱数据组合后的频谱矩阵。对当前负载的电流进行采样,并进行快速傅里叶变换,得到负载电流的相位差 3 次、5 次、7 次和 9 次谐波值。因为负载的相位角并没有线性关系不能直接进行加法运算,并且电流谐波中的基波分量都已经归一化,因此只能基于电流的 3 次、5 次、7 次和 9 次谐波来进行查找。为了能够准确查找到当前负载的类型,首先要将当前负载电流的 3 次谐波值与组合负载矩阵中的数据进行比对查找,纪录所有与当前负载 3 次谐波数据近似的负载类型,提取矩阵中此行的所有数据到一个临时的矩阵中。之后将当前负载电流的 5 次谐波值与临时负载矩阵中的数据进行比对查找,提取所有与当前负载 5 次谐波数据近似的负载谐波数据,更新临时矩阵。使用同样的方法对比负载电流的 7 次和 9 次谐波,当临时矩阵中的数据行数为 1 时,说明查找到了与当前负载匹配的负载类型,将此负载的二进制代码编号输出,即可识别当前的负载。

5 实验验证

在实验室环境下,使用达硕主机、美的空调和美的微波对上述方法进行验证。使用表 2 的数据作为标准参数。对于单一负载(以达硕主机为例),测定 10 次的参数值如表 4 所示。

表 4 单一负载(达硕主机)10 次测定值(归一化后)

索引号	基波	3 次谐波值	5 次谐波值	7 次谐波值	9 次谐波值
标准	10.000	8.703	6.467	3.887	1.611
1	10.000	8.544	6.564	3.867	1.559
2	10.000	8.532	6.237	3.798	1.783
3	10.000	9.010	6.945	3.367	1.646
4	10.000	8.731	6.643	3.988	1.834
5	10.000	8.603	6.464	4.023	1.685
6	10.000	9.011	6.892	3.698	1.583
7	10.000	8.693	6.295	4.034	1.735
8	10.000	8.736	6.303	4.180	1.476
9	10.000	8.864	6.557	3.748	1.906
10	10.000	8.793	6.467	3.608	1.906

由表 4 中可以得到,对于单一负载此方法运行可靠,因为电网不断有负载接入,其自身也在波动中,故实时计算得到的电流谐波值并不能与采样计算得到的标准值完全一致,但因为用电器自身的电气特性没有改变,其电流的谐波特性值也会随着电网相应的变化,并且变化幅度在一个合理的范围内。因此在实际使用中,本文所述的查找方法引入了偏差的阈值,只要实际测量值与标准值之间的差值在阈值范围内,即认为两者一致。

表 5 所示为美的空调和美的微波同时接入时的计算参数值。

表 5 混合负载(达硕主机与美的空调)10 次测定值(归一化后)

索引号	基波	3 次谐波值	5 次谐波值	7 次谐波值	9 次谐波值	识别结果
标准	10.000	5.090	3.5314	2.060	0.939	1+2(达硕主机+美的空调)
1	10.000	5.297	3.498	2.298	1.246	1+2
2	10.000	4.854	3.709	2.188	1.294	1+2
3	10.000	4.987	3.690	1.997	0.846	1+2
4	10.000	5.146	3.802	2.045	0.946	1+2
5	10.000	5.204	3.394	2.187	1.187	1+2
6	10.000	4.785	3.609	1.894	0.946	1+2
7	10.000	8.613	6.565	3.784	1.591	1(达硕主机)
8	10.000	5.159	3.724	1.945	0.894	1+2
9	10.000	5.099	3.693	2.056	1.046	1+2
10	10.000	4.987	3.534	2.224	1.135	1+2

对于混合负载的识别,从原理上与对单一负载的识别是一致的,从实验效果上来看,混合负载的波动并不比单一负载大,电流各谐波的实时计算值基本稳定在标准值附近。从表 5 中发现,第 7 次采样的计算值偏差很大,3 次谐波与基波的比为 8.7:10,远高于标准的 5:10。其原因在于空调有制冷和待机两种状态,当空调在待机状态时,相对工作状态其工作电流很小,因此电网中接入的实际负载相当于只有达硕主机一种。试验中在第 7 次测量中得到负载类型为达硕主机,证明了本文方法的准确性和时效性。

6 结束语

本文主要解决的是类似学校、商场等火灾频发场所的安全供电问题。在进行负载识别过程中,采用基于特征矩阵的方法实现负载识别。首先从原理上对算法进行了验证,并且在实验室条件下,对整个过程进行了模拟。结果显示,基于特征矩阵的负载识别,能够对加入电路的负载进行有效识别,并且能够准确的判断负载类型。

随着电力电子技术极大进步,用电负载向着多样化和多元化发展,使得用电管理越来越困难,传统的负载识别方法,已经跟不上负载类型的更新速度,所以使得负载识别是一个常谈常新的问题,因此,需要

不断地研究新负载类型的特点,在以往研究的基础上,寻求一种快速、准确的负载识别方法。

参 考 文 献

- [1]刘宁宁,高蒙,亢海伟.基于 FFT 的学生公寓典型负荷特性研究[J].石家庄铁道学院学报,2007,20(1):80-83.
 [2]张跃,唐铁.集中供电复杂电力负载识别与控制的设计[J].软件,2011,32(4):64-68.
 [3]郑宇,姚加飞.基于谐波分离的学生公寓负载特性识别[J].检测技术,2007,26(8):113-116
 [4]王娟,高蒙,亢海伟.基于 BP 神经网络的负载识别和 C 语言实现[J].河北省科学院学报,2005(1):11-14.
 [5]李昂,史延东,宁飞.智能负载识别器的设计[J].微型机与应用,2005(4):21-22.

Load Characteristic Identification Based on Characteristic Matrix of Harmonics

Yuan Kun , Gao Meng

(School of electrical and electronics engineering , Shijiazhuang Tiedao University , Shijiazhuang 050043 , China)

Abstract: This paper gives a load characteristic identification method based on harmonics of current. Since binary numbers are independent of one another , a algorithm of random combination calculating multiple data has been given in this paper. This method firstly samples and calculates the harmonics of current and gets the matrix of harmonics which combine randomly , then samples and calculates the harmonics of current in real time , querying those values in the matrix of current's harmonics and the one which is consistent with the real-time values is the load in electric network.

Key words: intelligent power supply; load identification; characteristic matrix; combination calculation

(上接第 70 页)

Field Test of Subgrade for Ha-Qi Passenger Dedicated Line in Deep Seasonal Frozen Regions

Tai Bowen^{1,2} , Yue Zurun^{1,2}

(1. Key Laboratory of Roads and Railway Engineering Safety Control of Ministry of Education , Shijiazhuang Tiedao University , Shijiazhuang 050043 , China; 2. School of Civil Engineering , Shijiazhuang Tiedao University , Shijiazhuang 050043 , China)

Abstract: The settlement of subgrade is not allowed to be more than 15 mm in the Harbin-Qiqihar in Passenger Dedicated Line. A field test of subgrade was operated in the Passenger Dedicate Line from Harbin to Qiqihar. The soil temperature , settlement , frost heaving and moisture content were measured. From the results: at the test place , the surface temperature of subgrade was under 0℃ in mid November , and was higher than 0℃ in late January. The frozen layer did not thaw until the middle of April. The maximum frozen depth was about 2.4 m. line region. So it is necessary to take insulation protection measures. After observation , the settlement of the subgrade was less than 20 mm , which is within the range of the design standard. The maximum frost heaving of the subgrade surface occurred in the surface temperature between -1 ~ -2℃. At this temperature , freezing layer is prone to water accumulation within the scope , so the subgrade filling should be strictly maintained with the optimum moisture content , and drainage measures must be taken for shallow foundation to avoid the occurrence of subgrade disease.

Key words: ground temperature; settlement; frost heaving; moisture content