

一种基于混合判据的非侵入式 IH 电饭煲运行辨识方法

技术领域

本发明属于智能用电技术领域，涉及一种基于混合判据的非侵入式 IH 电饭煲运行辨识方法。

背景技术

居民电力负荷监测分解技术是一门新兴的智能电网基础支撑技术，与目前智能电表仅量测用户总功率不同，它以监测并分解出居民户内所有电器的启动时间、工作状态、能耗情况为目标，从而实现更加可靠、精确的电能量管理。电力负荷监测分解技术使用户的电费清单像电话费清单一样，各类家用电器的用电量一目了然，从而使用户及时了解自己的用电情况，为合理分配各个电器的用电时间及相应的用电量提供参考，最终能够有效减少电费支出和电能浪费。Google 统计数据显示，如果家庭用户能够及时了解住宅电器的详细用电信息，就能使每月电费开支下降 5%~15%。如果全美国有一半家庭每个月节省这么多开支，减少的碳排放量相当于减少 800 万辆汽车的使用。对于工业用户而言，其负荷投切安排一般是比较固定的，只需分时计量即可，对负荷分解的需求较少，本项目的主要研究对象是住宅用电负荷。

目前，居民电力负荷监测分解技术主要分为侵入式监测分解(*Intrusive Load Monitoring and decomposition, ILMD*)和非侵入式监测分解(*Non-intrusive Load Monitoring and decomposition, NILMD*)两大类：

(1) 侵入式负荷监测分解技术 (*ILMD*)：侵入式负荷监测将带有数字通信功能的传感器安装在每个电器与电网的接口，可以准确监测每个负荷的运行状态和功率消耗。但大量安装监测传感器造成建设和维护的成本较高，最重要的是侵入式负荷监测需要进入居民家中进行安装调试，容易造成用户抵制心理。

(2) 非侵入式负荷监测分解技术 (NILMD)：仅在用户入口处安装一个传感器，通过采集和分析入口总电流、电压等信息来判断户内每个或每类电器的用电功率和工作状态（例如，空调具有制冷、制热、待机等不同工作状态），从而得出居民的用电规律。和侵入式负荷分解相比，由于只需要安装一个监测传感器，非侵入负荷分解方案的建设成本和后期维护难度都大幅降低；另外，传感器安装位置可以选择在用户电表箱处，完全不会侵入居民户内进行施工。可以认为，NILMD 以分解算法代替 ILM D 系统的传感器网络，具有简单、经济、可靠、数据完整和易于迅速推广应用等优势，有望发展成为高级量测体系 (AMI) 中新一代核心技术（成熟后，NILMD 算法也可以融合到智能电表的芯片内），支持需求侧管理、定制电力等智能用电的高级功能，也适用于临时性的负荷用电细节监测与调查。

IH 电饭煲加热原理为电磁加热，因此在电气特性上与传统电热板加热原理的电饭煲有很大的区别，通过调研表明，IH 电饭煲除了有间歇运行的特性外，其在运行过程中还伴随着无功的变化，因此现有的辨识电饭煲的非侵入负荷辨识算法已不适用于 IH 电饭煲的辨识。

综上所述，NILMD 技术已经逐渐成为一个研究热点，相关技术的突破和产业化对全社会的节能减排具有重要意义。目前，NILMD 技术的研究还停留在理论研究阶段，有效区分冲击钻与定频空调的算法还有待突破。

因此，需要一种非侵入式 IH 电饭煲运行辨识方法以解决上述问题。

发明内容

本发明的目的就在于为了解决上述问题而提供一种基于混合判据的非侵入式 IH 电饭煲运行辨识方法。

本发明通过以下技术方案来实现上述目的：

一种基于混合判据的非侵入式 IH 电饭煲运行辨识方法，包括以下步骤：

1)、以采样频率 f 采集总进线处的电流波形数据 $u(t)$ 和电压波形数据 $i(t)$ ，

其中, $t=t_0+1, t_0+2, \dots, t_0+N$, t_0 为电流电压采样序列编号, 并计算平均有功功率序列 $P(t)$ 及平均无功功率序列 $Q(t)$;

2)、计算负荷开启时刻的有功功率变化 ΔP_{on} 和无功功率变化 ΔQ_{on} 及关断时刻的有功功率变化 ΔP_{off} 和无功功率变化 ΔQ_{off} ;

3)、匹配负荷相邻的启停, 当满足下式时,

$$|\Delta P_{on} + \Delta P_{off}| < \delta P$$

$$|\Delta Q_{on} + \Delta Q_{off}| < \delta Q$$

式中, δP 和 δQ 分别为有功功率和无功功率的匹配误差; 转去步骤 4), 否则转去步骤 2);

4)、统计负荷运行时间间隔 Δt_{on} 、停止时间间隔 Δt_{off} 和温控时间间隔 Δt_{ctr} , 统计累加连续出现负荷占空比为 k 的运行次数 M , 其中, 负荷运行占空比 $k = \Delta t_{on} / \Delta t_{off}$;

5)、如果 $P_1 < \Delta P_{on} < P_2$ 、 $M > M_0$ 、 $Q_1 < \Delta Q_{on} < Q_2$ 且 $T_1 < \Delta t_{ctr} < T_2$, 则判断为 IH 电饭煲, 其中, P_1 和 P_2 为 IH 电饭煲有功功率变化的最小值和最大值, M_0 为 IH 电饭煲累加连续出现占空比为 k 的最低运行次数, Q_1 和 Q_2 为 IH 电饭煲无功功率变化的最小值和最大值, T_1 和 T_2 为 IH 电饭煲温控时间间隔的最小值和最大值。

更进一步的, 步骤 1) 中采样频率 f 的范围为 $0.5kHz \sim 2kHz$ 。

更进一步的, 步骤 1) 中平均有功功率序列 $P(t)$ 及平均无功功率序列 $Q(t)$ 通过下式计算得到:

$$P(t) = |U|_0 * |I|_0 * \cos(\Delta\varphi)$$

$$Q(t) = |U|_0 * |I|_0 * \sin(\Delta\varphi)$$

式中,

$$|U|_0 = \frac{2\sqrt{U_x^2 + U_y^2}}{N}$$

$$|I|_0 = \frac{2\sqrt{I_x^2 + I_y^2}}{N}$$

$$\Delta\varphi = \arctan\left(\frac{U_y}{U_x}\right) - \arctan\left(\frac{I_y}{I_x}\right)$$

N 为快速傅里叶分析的点数，

$$U_N = FFT(u(t))$$

$$I_N = FFT(i(t))$$

其中， $t=t_0+1, t_0+2, \dots, t_0+N$ ， t_0 为电流电压采样序列编号， N 为做快速傅里叶变换的点数， t 为时间点， FFT 为快速傅里叶变换函数，对于 N 个点进行快速傅里叶变换后，得到的是 N 个复数点，则第 n 个点代表的频率为 $f_n=f*n/N$ ，其中， $n=0,1,2,\dots,N-1$ ，第 0 个点表示直流分量，求取基波 $n_0=N*f_0/f$ ，对于复数序列 U_N 和 I_N ，记基波 n_0 点对应的复数为：

$$U_N(n_0) = U_x + jU_y$$

$$I_N(n_0) = I_x + jI_y$$

其中， j 为复数单位。

更进一步的， N 为 2 的整数次幂。

更进一步的，步骤 2) 中有功功率变化 ΔP_{on} 、无功功率变化 ΔQ_{on} 及关断时候的有功功率变化 ΔP_{off} 及无功功率变化 ΔQ_{off} 通过下式得到：

$$\Delta P_{on} = P(t_s + \Delta t_s) - P(t_s)$$

$$\Delta Q_{on} = Q(t_s + \Delta t_s) - Q(t_s)$$

$$\Delta P_{off} = P(t_e) - P(t_e - \Delta t_e)$$

$$\Delta Q_{off} = Q(t_e) - Q(t_e - \Delta t_e)$$

其中， t_s 和 t_e 分别表示上升阶跃时刻和下降阶跃时刻，代表负荷的开

启时刻和关断时刻， Δt_s 和 Δt_e 分别表示有功序列点的最小时间间隔和无功序列点的最小时间间隔。

更进一步的，步骤3)中IH电饭煲运行时包括运行时间间隔 Δt_{on} 、停止时间间隔 Δt_{off} 和温控时间间隔 Δt_{ctr} ，其中， $\Delta t_{ctr} > 2 * \Delta t_{off}$ ，

根据上式筛选温控时间间隔 Δt_{ctr} 。

根据IH电饭煲加热原理可知，IH电饭煲总是以“加热-保温”的方式循环运行，加热过程是以短时间的运行时间间隔 Δt_{on} 及停止时间间隔 Δt_{off} 来控制电饭煲实际运行功率，保温过程是加热过程结束后，一个长时间的停止运行过程，温控时间间隔 Δt_{ctr} 记录的即为该停止运行过程的持续时间。

本发明的有益效果是：本发明的基于混合判据的非侵入式IH电饭煲运行辨识方法结合了IH电饭煲间歇运行特性（间歇运行次数 N 及温控时间特性 Δt_{ctr} ）、电磁加热特性（无功功率变化 ΔQ ）及消耗电能特性（有功功率变化 ΔP ）的混合判据，能够有效的辨识出IH电饭煲，提高了辨识精度。

附图说明

图1为基于混合判据的非侵入式IH电饭煲运行辨识方法的算法流程图；

图2为基于混合判据的非侵入式IH电饭煲运行辨识方法有功无功波形图；

图3为基于混合判据的非侵入式IH电饭煲运行辨识方法计算过程图。

具体实施方式

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，所描述的实施例仅仅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做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。

如图1、图2和图3所示，本发明的基于混合判据的非侵入式IH电饭煲运行辨识方法，为了能将有功功率和无功功率同时明显地在同一张图上显示，将无功功率整体向下平移100Var，具体的流程步骤如下：

(1) 图 2 中, 采样频率为 $f=6400\text{Hz}$, 取 5 个周波的前 4 个周波共 512 个点进行快速傅里叶变换, 然后计算平均功率序列 P 及二次谐波序列 im_s , 则求取结果为 0.1 秒一个平均有功功率点和无功功率点。

(2) 图 3 中, 给定 $\delta P=20W$, $\delta Q=5Var$, 对于第一个启停状态, 有

$$\Delta P_{on}=P(t_s+\Delta t)-P(t_s)=1188-0.3721=1187.63 (W)$$

$$\Delta Q_{on}=Q(t_s+\Delta t)-Q(t_s)=-155.6-(-95.1)=-60.5 (Var)$$

$$\Delta P_{off}=P(t_e+\Delta t)-P(t_e)=1.761-1197=-1195.24 (W)$$

$$\Delta Q_{off}=Q(t_e+\Delta t)-Q(t_e)=(-98.79)-(-156.3)=57.51 (Var)$$

则

$$|\Delta P_{on}+\Delta P_{off}|=7.61<\delta P$$

$$|\Delta Q_{on}+\Delta Q_{off}|<=2.99\delta Q$$

为一个完整的启停过程, 对于后续启停过程同样如此计算, 同时记录启停时刻, 求取第一个启停过程的时间 $\Delta t_{on}=6.8-4.3=3.5 (s)$, $\Delta t_{off}=7.5-6.8=0.7 (s)$, $k=3.5/0.7=5$, 共有 8 个占空比为 $k=5$ 的完整启停, 第一个温控时间间隔 $\Delta t_{ctr}=58.4-31.8=26.6 (s)$, 给定阈值 $M_0=3$, $P_1=1100 (W)$, $P_2=1200 (W)$, $Q_1=-65 (Var)$, $Q_2=-55 (Var)$, $T_1=10 (s)$, $T_2=50 (s)$, 可知上述所求满足判断条件

$$P_1<\Delta P_{on}<P_2, M>M_0, Q_1<\Delta Q_{on}<Q_2, T_1<\Delta t_{ctr}<T_2$$

从而判断从 4.3 秒开始, 到 58.4 秒结束, 有 IH 电饭煲运行。