

家庭单相感应式电能表实测问题研究

——对上海 2011 年 1 月电费翻番原因的探究

田凡 李恒

(复旦大学 物理系)

摘要

通过对家庭单相感应式电能表在不同功率的用电器负载下的电功率与电压的响应关系进行实测，并与实际功率进行比对，验证了电能表在超额定电压下计量的有效性，对 1 月上海“电费翻番”事件中提出的由于电压提高导致的计量不准确进行了澄清。

关键词

单相感应式电能表、电压提高、电能计量

0 引言

2011 年 1 月，上海一些居民“电费翻番”的说法在网络上被热炒，不少网友说自己家 1 月电费大幅增加。对于电费增多的原因，网民质疑主要集中在两个方面：新换的电表计量有问题；供电部门有意调高电压。无疑这两点都是可能会造成电费增加的原因。

新式的数字电表的原理是，直接测量电流与电压，以积分的方式直接计算电功。新式电表原理简单，计量精确，电力部门也多次实测新式电表，均无问题。

而老式电表，即感应式电表的计量原理是基于电磁感应，驱动铝盘。原理简单，但是感应过程复杂，过程中难以每一步都精确量化。而当供电过程中产生谐波时，更会造成计量的不精确。

而关于电压问题，如果供电部门有意调高电压，那么势必会导致电器功率变大而电费增加。但是电功随着电压是如何增大的并不明确，电压增大多少才可能导致电费翻番的情况出现？这些都是值得探究的。

综合以上原因，本实验选取了家庭单相感应式电能表进行在不同运行条件下的实测，希寻找寻到可能带来电费增加的原因。

1 家庭单相感应式电能表原理

实验中研究的电能表是感应式单相电能表又称机械式单相电能表，主要利用电磁感应原理制成。

感应式电能表把电压线圈和电流线圈中电压、电流、相位的变化转变为驱动的磁力矩，带动铝制圆盘转动；同时这两个磁通产生的涡流也与制动永久磁铁产生的磁场相互作用产生制动力矩，与转动力矩平衡时，使铝盘匀速转动。圆盘的轴（蜗杆）带动一组齿轮传导后，驱动计度器的鼓轮转动，从而记录消耗的电能。在时间上累积的过程。

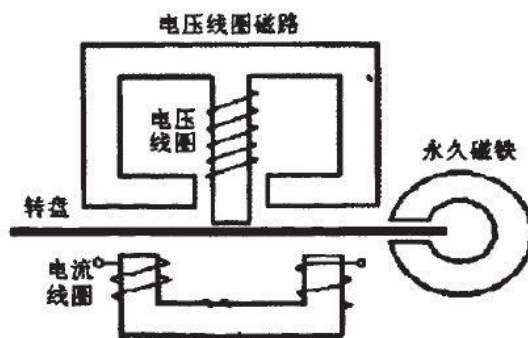


图 1

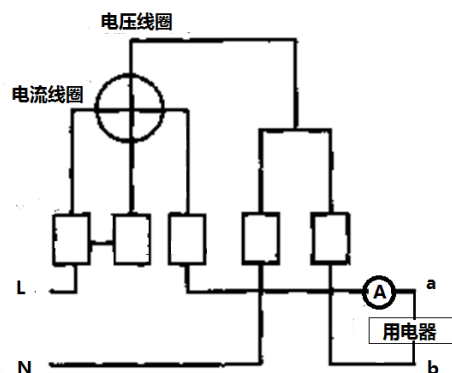


图 2

2 实测实验设计

实验使用 DD862-4 型单相电表作为测量电能的工具，VC89DD 万用表 Metra Hit24sCAIIV 万用表作为电流表和电压表，PTC 取暖器和 40W 白炽灯作为用电器。

家庭电表的安装要为与竖直的偏差在 1° 以内。故在实测前利用木板和木料搭支架，在铅垂校正的配合下，通过垫高支架底座可以调节电表的竖直，最中以紧贴铅垂为准，以保证与竖直误差在 1° 之内。

实验中，我们使用稳压电源变压器做电源输出，可以轻松实现其输出电压的改变。接线原理图如图 2 所示，我们通过记录用电器两端的电压和通过用电器的电流计算用电器工作的实际功率。另外，记录下电源两端、电表两端电压供参考。同时，我们记录下电能表计量的电能消耗，与之对比。

电表表盘读数单位过大，实测中不宜直接从表盘读数。故采用测量铝盘转动一圈所用时间来确定负载用电器功率的大小，以电表显示的功率对比直接用量测所得的电流、电压值计算出来的结果，分析两者偏差，进而得出结论。

实测中使用的电表为 600r/kwh，测量在 t 时间内表盘转 n 圈便可换算为功率 P ：

$$P = 3.6 \times 10^6 \times \frac{1}{600} \times \frac{n}{t}$$

3 实测结果分析

一、额定功率（标定）1800W 的取暖器开到最大档作为负载用电器时的实测

用电器电压	电路电流	实际功率 ¹	电表电压	功率测量值	测量与实际差值	相对偏差
$U_1(V)$	$I(A)$	$P_{\text{实际}}(W)$	$U_2(V)$	$P_{\text{测量}}(W)$	$\Delta P = P_{\text{测量}} - P_{\text{实际}}(W)$	$\eta = \Delta P / P_{\text{实际}}$
237.5	6.68	1603.9	240.1	1681.6	77.7	-2.33%
229.8	6.79	1581.4	232.9	1663.9	82.5	-1.65%
221.4	7.04	1577.7	224.1	1654.0	76.3	-1.84%
211.0	7.28	1554.3	213.5	1626.6	72.3	-1.53%
200.4	7.51	1519.3	202.3	1589.0	69.7	-2.08%
180.6	7.80	1430.5	183.4	1484.9	54.4	-1.46%

表 1

做电表读数对电源电压的描点，如图 3 所示。

二、额定功率为 40W 的白炽灯实测

用电器电压	电路电流	实际功率	电表电压	功率测量值	测量与实际差值	相对偏差
$U_1(V)$	$I(mA)$	$P_{\text{实际}}(W)$	$U_2(V)$	$P_{\text{测量}}(W)$	$\Delta P = P_{\text{测量}} - P_{\text{实际}}(W)$	$\eta = \Delta P / P_{\text{实际}}$
250.0	184.9	46.5	251.7	45.45	-1.09	-2.33%
240.0	179.9	43.4	241.0	42.64	-0.72	-1.65%
231.1	176.7	41.0	232.0	40.24	-0.75	-1.84%
224.2	174.2	39.2	225.3	38.65	-0.60	-1.53%
218.0	171.2	37.5	219.0	36.71	-0.78	-2.08%
206.5	166.9	34.6	207.4	34.11	-0.50	-1.46%

表 2

¹ 该实际功率值的是用电器功率与用电器电表之间导线消耗功率之总和

三、前述取暖器开到一档（功率在 900W 左右）作为负载用电器时的实测

用电器电压	电路电流	实际功率	电表电压	功率测量值	测量与实际差值	相对偏差
$U_1(V)$	$I(A)$	$P_{实际}(W)$	$U_2(V)$	$P_{测量}(W)$	$\Delta P = P_{测量} - P_{实际}(W)$	$\eta = \Delta P / P_{实际}$
200.9	4.46	912.516	204.6	951.2485	38.73251	4.24%
211.6	4.33	923.589	213.3	975.6098	52.02076	5.63%
220.8	4.22	944.436	223.8	988.8752	44.43915	4.71%
229.5	4.07	956.857	235.1	995.4376	38.58058	4.03%
239.2	3.94	950.328	241.2	1007.768	57.44021	6.04%

表 3

做电表读数对电源电压的描点，并做线性拟合如图 4 所示。

小功率时功率-电压曲线接近线性；大功率时增长率小于线性。

小功率时电表少算钱，大功率时电表多算钱。但是相差都不超过 5%。少算钱的原因可能和感应电表的启动电流有关系。

从以上结果来看，尽管处在大的电压波动范围下，单相电能表测量的用电器功率与用电器实际功率的误差在±5%以内，符合计量标准。因此我们可以得到初步的结论，电表在偏离额定电压条件下工作的计量仍然是有效的。

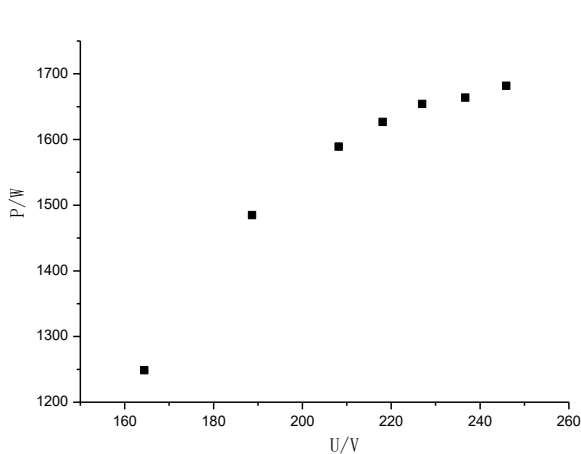


图 3

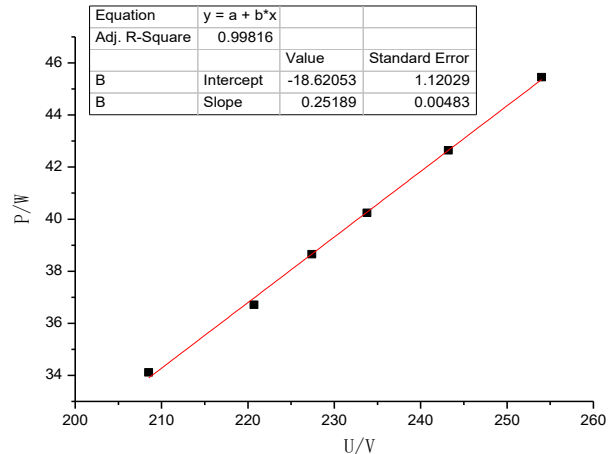


图 4

三、对测量过程中的损耗与误差进行分析

电压自电源到电表到用电器依次降低。此为电线的功率损耗。对其进行粗略估算：

取暖器

电源电压/V	电表电压/V	用电器电压/V	电源到电表损耗功率/W	电表到用电器损耗功率/W	总损耗/W	损耗百分比/%
245.9	240.1	237.5	38.74	17.37	56.11	3.42
236.7	232.9	229.8	25.80	21.05	46.85	2.92
227.0	224.1	221.4	20.42	19.01	39.42	2.47
218.1	213.5	211.0	33.49	18.20	51.69	3.26
208.2	202.3	200.4	44.31	14.27	58.58	3.75
188.7	183.4	180.6	41.34	21.84	63.18	4.29
164.4	158.1	156.1	47.75	15.16	62.91	5.05

表 4 取暖器最大档时的功率损耗

电源电压/V	电表电压/V	用电器电压/V	电源到电表损耗功率/W	电表到用电器损耗功率/W	总损耗/W	损耗百分比/%
254.0	240.1	237.5	0.425	0.314	0.740	1.57
243.2	232.9	229.8	0.396	0.180	0.576	1.32
233.8	224.1	221.4	0.318	0.159	0.477	1.15
227.4	213.5	211.0	0.366	0.192	0.557	1.41
220.7	202.3	200.4	0.291	0.171	0.462	1.22
208.5	183.4	180.6	0.184	0.150	0.334	0.96

表 5 白炽灯功率损耗

考虑到扣除这部分误差后，计量值与实际功率值的偏差范围在 5%之内，因此可认为，导线上的损耗是造成电压逐次下降、电能消耗的主要原因。

试估算导线的电阻，以取暖器开到最大档为例：

估计电线总长度为 2m，半径为 0.1mm，铜的电阻率为 $0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，故：

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}) \times 2(\text{m}) / 0.0314(\text{mm}^2) = 1.1\Omega$$

在取暖器开到最大档的实测时电流在 7A 左右，由此估算损耗为：

$$P = I^2 R \approx 54W \text{ 符合实测结果。}$$

比较取暖器和电灯的功率损耗（主要为导线上的消耗），大功率时损耗 3%到 5%，不是个小数字。这是由于实验室条件下的导线不比家用的导线，直径小、质量偏低，故造成了较大的损耗。若要得到更有说服力的数据，应考虑在实际用电条件下进行测量。

4 实验结论

电压的变化并不影响电能表测量的有效性，基本排除了由于电力部门提高供电电压而导致了上海居民一月电费翻番的可能性。“电费翻番”事件可能并无蹊跷，而是如冬季取暖增加了用电量、假期推迟了抄表时间等因素的叠加导致的。

对于大功率下电表计量正误差在 5%左右的实验事实和供电条件的波动可能有很大的关系。²

参考文献

张勇军，石辉. 考虑谐波响应率的电能表谐波误差修正【J】.电力系统保护与控制，第 37 卷第 22 期.

² 线性用户吸收基波功率的同时，被迫吸收有害的系统背景谐波，导致其计费电量大于实际吸收的基波电量，线性用户蒙受损失。