

一种利用微机精确测量电力系统 频率和其它电气量的方法

崔学深 郭志忠 哈尔滨工业大学(150061)

杨小青 曹全喜 许昌继电器研究所(461009)

【摘要】 利用微机交流采样技术, 采得电力系统电压或电流的采样值, 通过一种简捷快速的线性算法, 准确地计算出交流电量的频率, 根据实时的频率自适应地调整采样周期, 使电力系统频率变化后, 每周波仍均匀采集固定的点数, 从而保证了付里叶算法计算其它电量的精确度, 随后再测得的频率值也更为精确。

【关键词】 交流采样 自适应调整采样周期

引言

频率、电压、电流都是电力系统需要监视的重要技术参数, 对它们的精确测量是实现电力系统安全稳定运行和可靠控制的必要条件。在现代电力系统监控或远动的RTU中, 传统的遥测交流电参量的方法, 是将一次侧电压、电流用PT、CT变为100V和5A量程的二次电压、电流, 然后分别经过各自的变送器, 将被测交流量转换为相应的直流量, 最后A/D转换为数字量, 得到其测量值。这种方法比较间接, 而且测量精度也低。随着微电子技术和计算机技术的发展, 出现了数字测量的方法。在RTU的遥测中, 把二次电压、电流经小PT、小CT转换为5V范围的交流电压量, 通过对这些时间上连续的交流量进行离散采样, 获得一定数量的均匀的采样值, 再经A/D转换送入微处理器, 采用某种算法进行计算, 得出有关的交流电量值。目前, 这种交流采样技术已成为取代常规变送器的一种趋势, 它测量精确、速度快、实现简便、节省了大量的变送器屏等硬件设备, 具有较高的性能价格比, 已逐渐被各生产厂家所采用。

交流采样的方法、对采样周期的设定以及计算采样值所采用的算法, 都将直接影响测量结果的精确性。合理地处理这些方面, 对消除系统频率变化时所引起的测量误差非常重要。本文采用了自适应调整采样周期的方法, 大大地提高了测量的精度。

对于频率的测量, 以往都是专门用一套硬件回路来实现, 它将工频交流波形变为方波, 然后累计几个周期的脉冲计数个数来计量频率。本文采用新算法, 利用少量采样值即可计算频率值, 测量误差小于0.2%, 其简捷快速性对于迅速调整采样周期也极为有利。

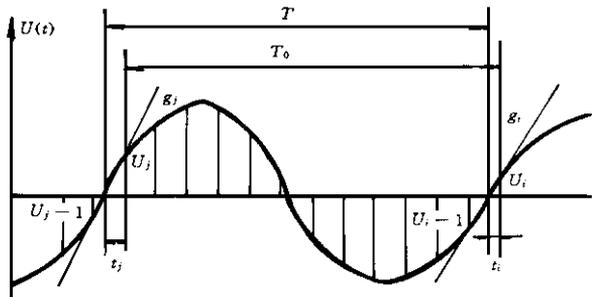


图 1

收稿日期: 1996—05—27

1 交流采样测算频率的方法

在电力系统处于稳态运行情况下,我们认为电力系统频率即是所测相电压的两次正向过零点的时间差的倒数。这个时间差也就是交流电压量的周期,它反映的是转子以该相轴为起始转过一周的时间。电压波形中,无论含有怎样的整次谐波和噪声干扰,我们都认为转子转一圈所经过的时间即为一个周期,而不必劳力于滤除电力系统谐波,然后用基波分量的周期去计算频率。下面就通过一种利用交流采样值线性拟合过零点的算法,较为精确地估算出电力系统的频率。

图 1 中 $U_j, U_{j-1}, U_k, U_{k-1}$ 分别为两次过零点前后的采样点 $j, j-1, k, k-1$ 点采得的电压值; g_j, g_i 分别为 U_j, U_{j-1} 之间和 U_k, U_{k-1} 之间割线的斜率, 于是:

$$\begin{aligned}
 T &= T_0 - (t_i - t_j) = \Delta t_0(i - j) + \left(\frac{U_i}{g_j} - \frac{U_j}{g_i} \right) \\
 &= \Delta t_0(i - j) + \left(\frac{U_i}{\frac{U_j - U_{j-1}}{\Delta t_0}} - \frac{U_j}{\frac{U_i - U_{i-1}}{\Delta t_0}} \right) \\
 &= \Delta t_0(i - j + \frac{U_j}{U_j - U_{j-1}} - \frac{U_i}{U_i - U_{i-1}})
 \end{aligned} \tag{1}$$

频率即可求得为 $f = 1/T$

2 自适应调整采样周期提高测量其它电气量的精确度

通常对电力系统相电压、电流和功率的计算,都采用付里叶算法。其中全周波付里叶算法由于数据窗长,其精确度要优于半周波付里叶算法和其它算法。但当系统频率偏离工频 50Hz 时,采样周期仍然固定不变计算结果就会产生偏差。如图 2。

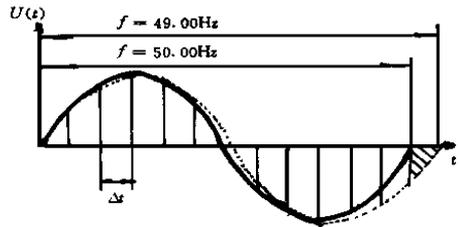


图 2

以计算电网相电压的有效值为例,按每周波 12 个点进行采样,将相电压 $U(t)$ 展为付里叶级数:

$$U(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [U_{xn} \sin(n\omega t) + U_{yn} \cos(n\omega t)] \tag{2}$$

其基波分量:

$$U_x = \frac{2}{T} \int_0^T U(t) \sin(\omega t) dt = \frac{1}{N} \left[2 \sum_{k=1}^{N-1} U_k \sin\left(k \frac{2\pi}{N}\right) \right] \tag{3}$$

$$U_y = \frac{2}{T} \int_0^T U(t) \cos(\omega t) dt = \frac{1}{N} \left[U_0 + 2 \sum_{k=1}^{N-1} U_k \cos\left(k \frac{2\pi}{N}\right) + U_N \right]$$

于是: $U_{\text{有效}} = \sqrt{(U_x^2 + U_y^2)}/2$ (4)

当电力系统频率变化到 49.00Hz 时,从图中可见,采样点不能采满到全周波,积分中缺少了阴影部分,必然造成计算偏差。

如果随着系统频率的变化,我们实时地调整采样周期,使每个周波中仍能均匀地采样 12 个点,就会消除上述频率变化所引起的计算偏差。

具体做法是,用软件方法更改 8253 计数器的计数值来实现对采样周期 Δt 的调整,先用前面介绍过的线性算法,可以快速地计算出频率变化后新的采样周期 $\Delta t = T/12$,若微机时钟

输入为 4MHz, 计数值即为

$$N = \Delta t \times 4 \times 10^6 \quad (5)$$

按此计数值调整下一周波的采样周期, 就使下一周波付里叶算法计算得的电压有效值消除了偏差而提高了精度。

3 实验结果及结论

将本文的算法运用到交流采样的 RTU 上进行实验, 测得电压为 80V、不同频率时电压有效值和频率值的系列数据, 其结果见下表:

表 1 $f = 48.00\text{Hz}$

被测电气量	1	2	3	4	5	6	7	实际值	最大相对误差
$U_0(\text{V})$	81.820679	78.583229	81.879349	81.822639	78.599747	81.731453	78.6002646	80.218987	2.10%
$U_1(\text{V})$	80.687752	80.111176	80.018906	80.312309	79.987328	79.939392	80.250809	80.161968	0.277%
$f_0(\text{Hz})$	47.974442	47.981194	47.979584	47.885921	47.987434	47.984066	48.027367	47.970437	0.203%
$f_1(\text{Hz})$	48.006107	48.003368	47.996475	48.021061	47.792282	48.007465	47.991001	57.989616	0.165%

表 2 $f = 49.00\text{Hz}$

被测电气量	1	2	3	4	5	6	7	实际值	最大相对误差
$U_0(\text{V})$	79.377393	80.733723	79.949117	79.325604	80.289937	80.506818	80.172681	80.073194	1.00%
$U_1(\text{V})$	79.993530	80.025223	80.060349	80.076080	80.092468	80.059631	79.980820	80.042315	0.127%
$f_0(\text{Hz})$	48.994602	48.901573	48.976059	48.953262	48.984578	48.954552	48.877201	48.956822	0.249%
$f_1(\text{Hz})$	48.990528	49.016060	49.019608	49.014351	49.097389	49.008469	48.918846	49.004932	0.189%

表 3 $f = 50.00\text{Hz}$

被测电气量	1	2	3	4	5	6	7	实际值	最大相对误差
$U_0(\text{V})$	79.943275	79.996696	79.868431	80.115372	79.851982	79.972023	80.023117	79.958294	0.187%
$U_1(\text{V})$	79.912300	80.074303	80.186584	79.963379	79.931236	80.009552	80.021713	80.010624	0.174%
$f_0(\text{Hz})$	49.993855	49.972355	49.978654	49.983429	49.975140	49.993763	49.966530	49.982345	0.032%
$f_1(\text{Hz})$	49.998516	49.993374	50.003819	49.986958	50.020008	49.998665	50.004803	50.000663	0.044%

表 4 $f = 51.00\text{Hz}$

被测电气量	1	2	3	4	5	6	7	实际值	最大相对误差
$U_0(\text{V})$	80.379326	79.491982	79.408982	80.585495	79.268150	79.484985	80.544174	79.962946	0.874%
$U_1(\text{V})$	80.162680	80.134497	80.279807	80.042448	80.096098	80.121687	80.039501	80.088683	0.225%
$f_0(\text{Hz})$	51.020416	51.047741	51.169701	50.963490	50.976482	50.991573	50.980385	51.004437	0.080%
$f_1(\text{Hz})$	51.009777	50.990673	50.995255	51.008392	50.997028	50.999592	51.002335	50.999219	0.047%

(下转 54 页)

5 几点建议

使用者在采用全微机保护监控系统时,应对该系统进行充分的调研,选用技术相对成熟,产品质量稳定,售后服务有保障,经两部鉴定的产品,可以先在个别站进行初步试点,待取得成功经验后再大面积推广。

各使用单位要进一步优化设计,无论是请网、省院设计还是本厂(局)设计都要明确要求,统一规范,优化配置,优良的设计是可靠运行的第一环节才能进一步提高可靠性,降低成本,控制工程造价,节省人力、物力,确保投运后的安全运行。否则,若因设计不周而引起麻烦,保证安全运行就是一句空话。

产品生产厂家应抓好整机配套设施的选型、配置,加强对整个系统全过程的质量检测,强化对整机的抗干扰试验,老化试验,动稳、热稳试验,精度试验,优化电路和程序设计。

全微机保护监控系统的应用是一个涉及发供电单位的系统工程,涉及到设计、基建、生技、调度(远动)检修、运行的方方面面,需要明确职责,统一协调,配备精干人力才能迅速掌握设备的运行管理,并制订相应的规章制度,及时总结经验,把握规律,才能管好用好电站综合自动化这一新技术。

(上接 38 页)

表 5 $f = 52.00\text{Hz}$

被测电气量	1	2	3	4	5	6	7	实际值	最大相对误差
$U_0(\text{V})$	79.971225	78.968280	80.647662	79.323067	81.733035	78.835132	79.851123	80.047512	2.28%
$U_1(\text{V})$	80.007248	79.899727	80.052864	80.066093	80.263390	80.019043	79.969063	80.044676	0.119%
$f_0(\text{Hz})$	51.979210	51.969379	51.989586	51.986137	52.008621	51.960751	51.983044	51.983686	0.144%
$f_1(\text{Hz})$	52.018314	52.004513	52.018314	51.994293	51.995071	52.005131	52.009731	52.002731	0.043%

不调整采样周期的实验结果系列为 U_0 和 f_0 ,调整采样周期的实验结果系列为 U_1 和 f_1 。通过对它们的相对误差的比较可见,不调整采样周期时,频率偏于 50.00Hz 越大,计算得的电压的测量值系列偏差越大,相对误差也越大;而调整采样周期后,无论频率偏移到何种范围,电压值的相对误差都在 0.3% 之内,精确度明显地提高了。由于频率随着调整不断地向真实值靠近,其测量值要比不调整采样周期时准确,从实验结果上看,频率测量精度也很高。

实验证明,本方法硬件配置简单,测算频率速度快、精度高、响应时间也小,自适应调整采样周期的方法可有效地消除计算偏差,从而进一步提高了精度,是遥测电力系统交流模拟量的一种良好方法。

参考文献

- 1 何奔腾. 电力系统频率的自适应测量. 电力系统及其自动化学报, 第 3 卷第 2 期
- 2 王培康. 一种利用交流量的瞬时值快捷精确测量交流电参量的新方法. 电子测量技术
- 3 尹项根. 数字保护常用算法的研究. 电力系统及其自动化学报, 第 3 卷第 1 期
- 4 李振然. 利用递推最小二乘算法和自适应采样实现微机电量变送器. 电力系统自动化, 第 19 卷第 3 期
- 5 韩英铎. 电力系统动态频率的新概念和新算法. 电力系统自动化, 第 17 卷第 10 期
- 6 Nguyen C T et al. A new technique for rapid tracking of frequency deviations based on level crossing. IEEE Trans on PAS, 1984, Vol 103, No 8
- 7 Girgis A A et al. A new FFT based digital frequency relay for load shedding. IEEE Trans on PAS 1982, VO 1101, NO 2