

不同功率因数下相位误差对功率测量准确度的影响

在正弦电路中，功率（本节提到的功率均指有功功率）与电压方均根值、电流方均根值及电压和电流的相位差有关。在变频器输出的PWM电路中，若负载是电机，功率与基波功率较接近，基波功率与基波电压方均根值、基波电流方均根值及基波电压和基波电流的相位差有关。

以单相电路为例， $P=UI\cos\varphi$ 。

P：正弦电路功率或PWM电路基波功率。

U：正弦电路电压方均根值或PWM电路基波电压方均根值。

I：正弦电路电流方均根值或PWM电路基波电流方均根值。

φ ：正弦电路电压和电流的相位差或PWM电路基波电压与基波电流的相位差。

实际测量中，U、I和 φ 都会有误差，假设它们的绝对误差分别为 ΔU 、 ΔI 和 $\Delta\varphi$ （以弧度为单位）。由此引起的P的绝对误差为 ΔP ，那么：

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P}{\partial I} \Delta I + \frac{\partial P}{\partial \varphi} \Delta \varphi \\ &= I\cos\varphi \Delta U + U\cos\varphi \Delta I + UI\sin\varphi \Delta \varphi\end{aligned}$$

P的相对误差为 $\Delta P/P$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + \tan\varphi \Delta \varphi$$

上式中，右边第一项为电压测量的相对误差，第二项为电流测量的相对误差，在测量装置量程附近或准确限值范围之内，其数值等于仪表的准确级。

第三项误差是相位角 φ 的正切与相位测量误差的乘积，具体数值与相位角 φ 密切相关。

当 $\varphi=0^\circ$ 或 180° 时， $\tan\varphi=0$ ，功率测量准确度几乎不受相位误差的影响。

当 $\varphi=90^\circ$ 或 270° 时， $\tan\varphi=\pm\infty$ ，任何非无穷小的相位误差，都会导致功率测量无穷大的误差。

换言之，功率因数为零时，功率不可测量。

实际应用中，一般不会遇到功率因数为零的情况，因此，我们关心的是功率因数较小时的功率测量准确度。

显然，功率因数越低，相同的相位误差对功率测量准确度的影响越大。

下表列出了相位角在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内变化时， $10'$ （约 0.0029 弧度，相当于 0.2 级电磁式互感器的误差限值）角差引起功率测量误差值。

序号	相位角 φ ($^\circ$)	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	功率测量相对误差 (%)
1	36.9°	0.7997	0.7508	0.2
2	60°	0.5000	1.7321	0.5
3	78.5	0.1994	4.9152	1.4
4	87.1	0.0506	19.740	5.7
5	88.9	0.0192	52.081	15