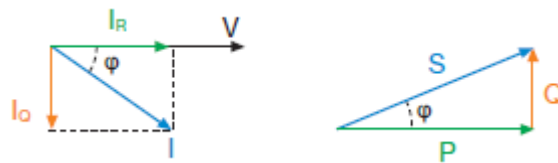


无功补偿容量计算

■ 什么是无功

实际电力系统中，负载存在电阻 R 和电抗 X 。电流在电感元件中做功时电流滞后于电压 90° ，而电流在电容元件做功时电流超前电压 90° ，电抗 X 表示电路中电感和电抗的合。负载电流可拆分为和电压方向相同的电阻分量 I_R 和与电压方向垂直的电抗分量 I_X 。绝大部分负载均呈感性，使得总电流滞后于电压，他们之间形成的夹角用 φ 表示。功率也可分为电阻部分的功率（有功功率 P ）和电抗部分的功率（无功功率 Q ）。根据公式，负载的视在功率 S 可表示为 $S^2 = P^2 + Q^2$ ，其有功功率 P 和视在功率 S 的夹角也为 φ ， $P/S = \cos\varphi$ 。 $\cos\varphi$ 也被定义为功率因数。不难发现 R 和 X ，电压和电流夹角均为 φ 。故功率因数角也被称为阻抗角。



例如含有电机的电路中，有功功率被转换为不同类型的能量直接输出，例如热能、机械能等；无功功率用来建立和维持负载的电场或磁场，从而才能利用电磁感应原理完成电能到其他形式能量的转换。这部分能量虽然没有对外做功，但仍是负载正常运行必不可少的部分。

■ 为什么要进行无功补偿

1. 补偿无功功率，提高电网功率因数，大幅减少电费的缴纳；
2. 提高功率因数可降低系统电流，降低线路线损及变压器铜损，节约有功电能，提升设备寿命；
3. 提高功率因数可降低视在功率，降低相关设备容量和电网建设的投资，提高设备利用率。
4. 改善电压质量，减少电压降。

另一方面，随着工业发展，大量非线性负载的使用，产生大量谐波，污染电网。通过合理配置补偿和滤波设备，可大幅降低谐波对电网和用电设备的影响。

■ 无功补偿原理

电流在电感元件中做功时电流滞后于电压 90° ，电流在电容元件做功时电流超前电压 90° 。在同一电路中，电感电流与电容电流方向相反。在电感电路中按比例安装电容元件时可以使二者的电流相互抵消，减小电抗 X ，也就减小了无功功率，提高了功率因数。使用电力电容器补偿无功功率的具体做法就是把容性负荷与感性负荷并联在同一电路，能量就会在两种负荷间相互交换。这样感性负荷所需的无功功率可由容性负荷输出。减少了电网电源向感性负载提供、由线路输送的无功功率，减少了无功功率在电网中的流动，因此可以降低线路和变压器输送无功功率造成的电能损耗。



使用静止无功发生器 SVG 补偿时，可把 SVG/ASVG 看作一个可调节的电压源或电流源，原理是通过电力电子器件组成自换相桥式电路，经过电抗器并联在电网上，适当地调节桥式电路交流侧输出电压的幅值和相位，或者直接控制其交流侧电流。迅速吸收或者发出所需的无功功率，实现快速动态调节无功的目的。SVG/ASVG 首先计算电网中需要补充或吸收多少无功功率才可以达到目标功率因数，然后直接向电网注入或吸收对应的无功功率，达到补偿目的。

■ 目标功率因数的选择

《供电营业规则》中规定：功电力应当就地平衡。用户应当在提高用电自然功率因数的基础上，按照有关标准设计和安装无功补偿设备，并做到随其负荷和电压变动及时投入或切除，防止无功电力倒送。除电网有特殊要求的用户外，用户在当地供电企业规定的电网高峰负荷时的功率因数，应当达到下列规定：

- (a) 100 千伏安以上高压供电的用户功率因数为 0.90 以上；
- (b) 其他用户和大、中型电力排灌站、趸购转售电企业，功率因数为 0.85 以上；
- (c) 农业用电，功率因数为 0.80。

电力局根据功率因数增设力调电费，下表为某供电企业功率因数电费调整表。用户可根据当地功率因数调整电费费率，在安装无功补偿装置所需的费用和所需支付的罚款之间进行评估和比较。

表 1 以 0.90 为标准值的功率因数调整电费表

减收 电费	实际功率因数	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95—1.00								
	减收比例%	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75								
增收 电费	实际功率因数	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76
	增加比例%	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
	实际功率因数	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	cosφ ≤ 0.64, 每降低 0.01 电费增加 2%		
	增加比例%	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00			

表 2 以 0.85 为标准值的功率因数调整电费表

减收 电费	实际功率因数	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94—1.00				
	减收比例%	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.65	0.80	0.95	1.10				
增收 电费	实际功率因数	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71
	增加比例%	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
	实际功率因数	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	cosφ ≤ 0.59, 每降低 0.01 电费增加 2%		
	增加比例%	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00			

表 3 以 0.80 为标准值的功率因数调整电费表

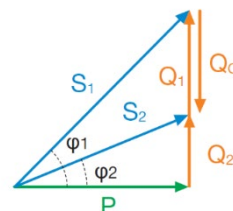
减收 电费	实际功率因数	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92—1.00	
	减收比例%	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.15	1.30	
增收 电费	实际功率因数	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66
	增加比例%	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
	实际功率因数	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	cosφ≤0.54, 每降低 0.01 电费增加 2%		
	增加比例%	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00			

■ 补偿容量计算

方法一：计算

首先需要了解三个参数才可进行计算，分别是：

- (1) cosφ1: 未加装无功补偿装置之前的功率因数；
- (2) cosφ2: 希望提高到多大的功率因数；
- (3) P: 专变客户的有功功率；



计算公式如下：

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \times (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) = P \times \left(\frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_1}}{\cos\varphi_1} - \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_2}}{\cos\varphi_2} \right)$$

根据公式可直接计算出需要补偿的无功功率。

也可根据每 kW 有功功率所需补偿容量表（后附），所需补偿的无功功率=有功功率×对应系数。

通过简单的案例进行说明：

假设某有功功率 520W 的设备中，希望把功率因数从 0.65 提高至 0.95 左右，计算方法如下：

$$\text{所需补偿的容量 } Q_j = P \times 0.84 = 520 \times 0.84 = 436.80 \text{ (kvar)}$$

方法二：经验值估算

对于新建专变的用户而言，无法精确计算负荷未加装无功补偿时的功率因数，供电局一般规定功率因数需要达到 0.9，而同一台变压器，实际负荷不同，配置的无功补偿容量也是不一样的。通常情况下取变压器容量的 30%~50%。数值范围需要根据负荷中电机的负载比重综合考虑，一般来说负载比重越大，需要配置的容量越大。

假设某新增变压器容量 800KVA，如果电机负载比重不大， $Q = S \times 30\% = 800 \times 30\% = 240\text{kvar}$ 。如果电机负载比重较大 $Q = S \times 50\% = 400\text{kvar}$

每 kW 有功功率所需补偿容量表 (kvar/kW)													
补偿前 cosφ1	补偿后 cosφ2												
	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.60	0.58	0.71	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.04	1.08	1.13	1.19	1.33
0.61	0.55	0.68	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.97	1.01	1.05	1.10	1.16	1.30
0.62	0.52	0.65	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.97	1.01	1.06	1.12	1.27
0.63	0.48	0.61	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.98	1.03	1.09	1.23
0.64	0.45	0.58	0.72	0.74	0.77	0.81	0.84	0.87	0.91	0.95	1.00	1.06	1.20
0.65	0.42	0.55	0.68	0.71	0.74	0.77	0.81	0.84	0.88	0.92	0.97	1.03	1.17
0.66	0.39	0.52	0.65	0.68	0.71	0.74	0.78	0.81	0.85	0.89	0.94	1.00	1.14
0.67	0.36	0.49	0.62	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.86	0.90	0.97	1.11
0.68	0.33	0.46	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.94	1.08
0.69	0.30	0.43	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.76	0.80	0.85	0.91	1.05
0.70	0.27	0.40	0.54	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.82	0.88	1.02
0.71	0.24	0.37	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.79	0.85	0.99
0.72	0.21	0.34	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.64	0.67	0.71	0.76	0.82	0.96
0.73	0.19	0.32	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.69	0.73	0.79	0.94
0.74	0.16	0.29	0.42	0.45	0.48	0.51	0.55	0.58	0.62	0.66	0.71	0.77	0.91
0.75	0.13	0.26	0.40	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.59	0.63	0.68	0.74	0.88
0.76	0.11	0.24	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.56	0.60	0.65	0.71	0.86
0.77	0.08	0.21	0.34	0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	0.54	0.58	0.63	0.69	0.83
0.78	0.05	0.18	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.51	0.55	0.60	0.66	0.80
0.79	0.03	0.16	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.53	0.57	0.63	0.78
0.80	/	0.13	0.27	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.50	0.55	0.61	0.75
0.81	/	0.10	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.40	0.43	0.47	0.52	0.58	0.72
0.82	/	0.08	0.21	0.24	0.27	0.30	0.34	0.37	0.41	0.45	0.49	0.56	0.70
0.83	/	0.05	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.38	0.42	0.47	0.53	0.67
0.84	/	0.03	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.32	0.35	0.40	0.44	0.50	0.65
0.85	/	/	0.14	0.16	0.19	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37	0.42	0.48	0.62
0.86	/	/	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.34	0.39	0.45	0.59
0.87	/	/	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.42	0.57
0.88	/	/	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.40	0.54
0.89	/	/	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.51