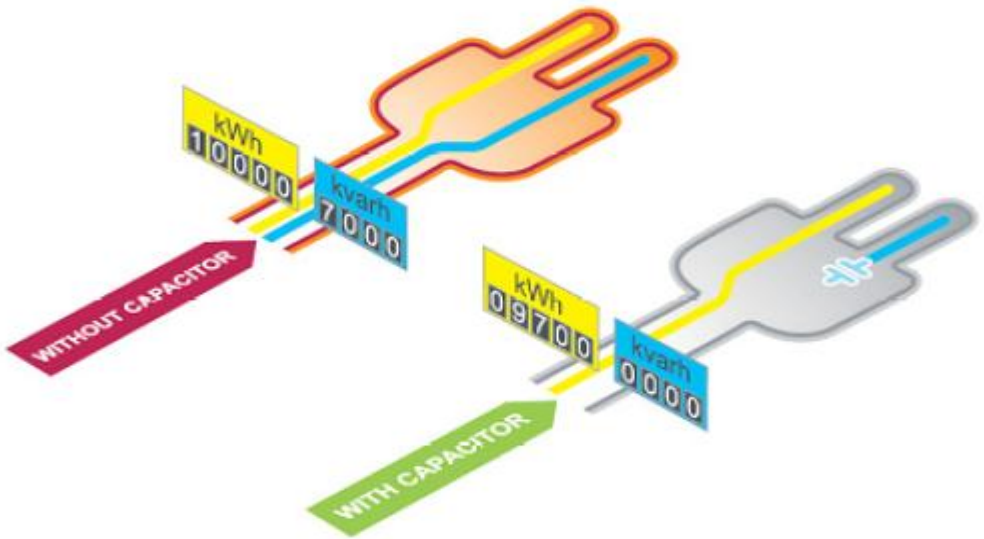
WWW.MOHANDES.ORG

فصل هشتم : اصلاح ضریب قدرت و منافع ناشی از نصب خازن

مقدمه

- ضریب قدرت مشترکین از طرف شرکتهای توزیع برق دارای محدوده تعرفه شده ای است که تجاوز وعدم رعایت آن از سوی مصرف کننده شامل جریمه می گردد . لذا ضرورت رعایت این محدوده از سوی مشترکین ضروری است . با استفاده از خازن گذاری میتوان اصلاح ضریب قدرت را بهینه نمود . با توجه به اصل بهینه سازی اصلاح ضریب به چه میزان انجام گیرد تا صرفه جویی اقتصا دی موثر باشد ، موضوع این بحث است .
- با عبور جریان الکتریکی از هادی ها متناسب با میزان مقاومت آنها توانی برابر با $(P_{Loss}=I^2 R)$ تلف خواهد شد . توان تلف شده معمولا (6%) توان کل خواهد بود .

با خازن گذاری میزان جریان بار وبدنبال آن تلفات ترانسفورماتور وخطوط با اصلاح ضریب قدرت تعدیل شده و لذا صرفه جویی انرژی حاصل می گردد.



❑ تعاریف و روابط محاسباتی

P_l:	تلفات هادی
R:	مقاوت اهمی هادی
$Cos(\varphi_1)$ or PF_1	ضریب قدرت قبل از نصب خازن
$Cos(\varphi_2)$ or PF_2	ضریب قدرت بعد از نصب خازن
C:	ظرفیت نصب شده خازن
LRC:	ضریب توان کاسته شده بار
P_{lr}:	تلفات کاسته شده بعد از اصلاح
LF:	ضریب بار
P_1:	توان درخواستی قبل از اصلاح
P_2:	توان درخواستی بعد از اصلاح
kWH_1:	انرژی مصرفی قبل از اصلاح
kWH_2:	انرژی مصرفی بعد از اصلاح

❑ ضرایب قدرت اجزاء وعناصر سیستم توزیع

در جدول زیر ضرایب قدرت عناصر سیستم توزیع انرژی به منظور اصلاح آنها نشان داده شده است

Plant and appliances		cos φ	tan φ
Common induction motor loaded at	0%	0.17	5.80
	25%	0.55	1.52
	50%	0.73	0.94
	75%	0.80	0.75
	100%	0.85	0.62
Incandescent lamps		1.0	0
Fluorescent lamps (uncompensated)		0.5	1.73
Fluorescent lamps (compensated)		0.93	0.39
Discharge lamps		0.4 to 0.6	2.29 to 1.33
Ovens using resistance elements		1.0	0
Induction heating ovens (compensated)		0.85	0.62
Dielectric type heating ovens		0.85	0.62
Resistance-type soldering machines		0.8 to 0.9	0.75 to 0.48
Fixed 1-phase arc-welding set		0.5	1.73
Arc-welding motor-generating set		0.7 to 0.9	1.02 to 0.48
Arc-welding transformer-rectifier set		0.7 to 0.8	1.02 to 0.75
Arc furnace		0.8	0.75

Fig. K6 : Values of cos φ and tan φ for commonly-used plant and equipment

❑ منافع ناشی از بهینه سازی واصلاح ضریب قدرت

❖ در انتخاب کابل

✓ با کنترل مناسب ضریب قدرت می توان کابل هایی باسطح مقطع مناسب انتخاب نمود در جدول زیر رابطه سطح مقطع کابل با کاهش ضریب قدرت نشان داده شده است .

Back

Multiplying factor for the cross-sectional area of the cable core(s)	1	1.25	1.67	2.5
cos φ	1	0.8	0.6	0.4

Fig. K7 : Multiplying factor for cable size as a function of cos φ

✓ با توجه به رابطه توان تلف شده در کابل که با توان دوم توان انتقالی ارتباط دارد ، میتوان با اصلاح ضریب قدرت تلفات را تعدیل نمود

$$P_1 = [\text{Demand kVA}/(\text{voltage} \times 1.732)]^2 \times (R \times 3)$$

❑ منافع ناشی از بهینه سازی واصلاح ضریب قدرت

❖ در انتخاب کابل

- ✓ با اصلاح ضریب قدرت افت ولتاژ کاهش یافته ولذا میتوان در واحدطول کابل سطح مقطع انتخاب شده کمتری بدست آورد .
- ✓ با افزایش ضریب قدرت ظرفیت انتقالی توان کابل ها افزایش می یابد . در شکل زیر به ازاء توان اکتیو مشخصی توان ظاهری کاهش یافته

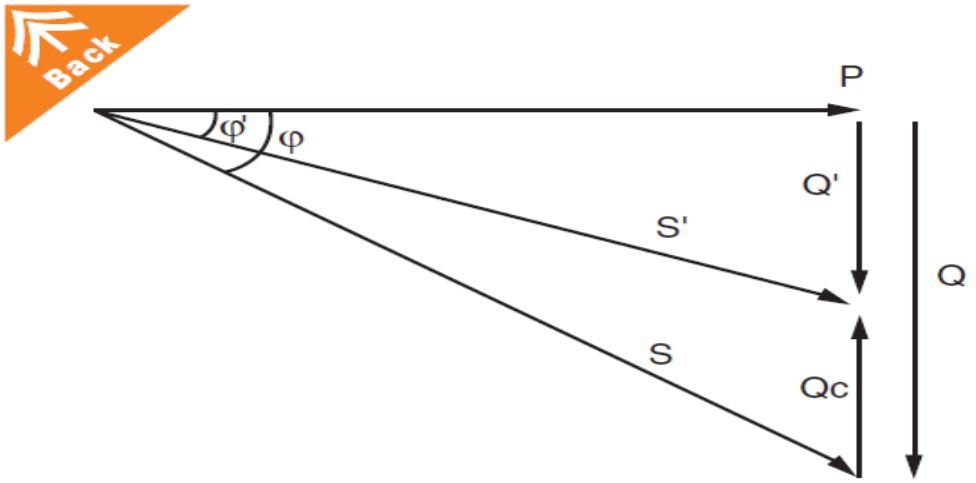


Fig. K9 : Diagram showing the principle of compensation:
$Qc = P (\tan \varphi - \tan \varphi')$

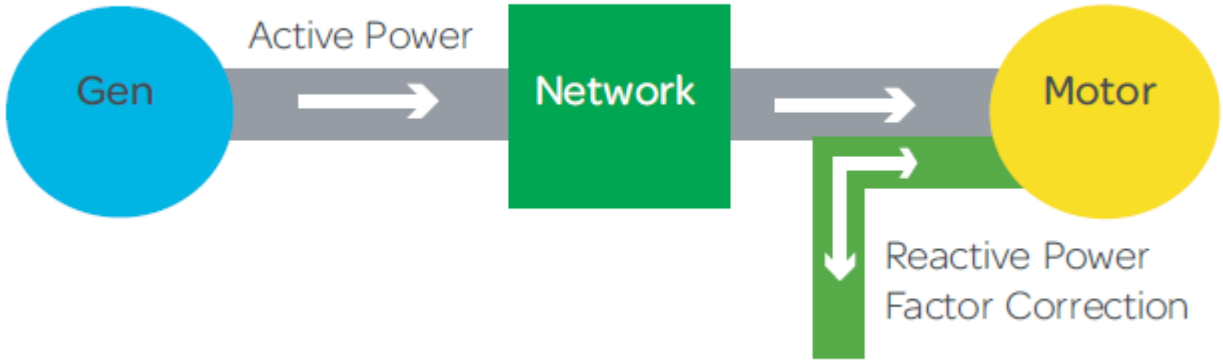
❑ انتخاب مناسب ظرفیت خازنی

❑ با استفاده از روابط توان ها قبل وبعد از اصلاح ضریب قدرت می توان روابط مناسبی بر حسب ظرفیت خازن مورد نیازبدست آورد

$$C = kW \times [\tan[\alpha \cos(\varphi_1)] - \tan[\alpha \cos(\varphi_2)]]$$

جهت صرفه جویی در محاسبات می توان از جدول زیر بمنظور استخراج توان راکتیو مورد نیاز استفاده نمود .

Figure 3



❑ جدول انتخاب ظرفیت راکتیو خازنی با داشتن ضریب قدرت قبل وبعد از اصلاح صفحه اول

Before compensation		kvar rating of capacitor bank to install per kW of load, to improve cos φ (the power factor) or tan φ, to a given value												
		tan φ	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.0
tan φ	cos φ	cos φ	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
2.29	0.40		1.557	1.691	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
2.22	0.41		1.474	1.625	1.742	1.769	1.798	1.831	1.840	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
2.16	0.42		1.413	1.561	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
2.10	0.43		1.356	1.499	1.624	1.651	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
2.04	0.44		1.290	1.441	1.558	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
1.98	0.45		1.230	1.384	1.501	1.532	1.561	1.592	1.628	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
1.93	0.46		1.179	1.330	1.446	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
1.88	0.47		1.130	1.278	1.397	1.425	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
1.83	0.48		1.076	1.228	1.343	1.370	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
1.78	0.49		1.030	1.179	1.297	1.326	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
1.73	0.50		0.982	1.232	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
1.69	0.51		0.936	1.087	1.202	1.230	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
1.64	0.52		0.894	1.043	1.160	1.188	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
1.60	0.53		0.850	1.000	1.116	1.144	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
1.56	0.54		0.809	0.959	1.075	1.103	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
1.52	0.55		0.769	0.918	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
1.48	0.56		0.730	0.879	0.996	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
1.44	0.57		0.692	0.841	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
1.40	0.58		0.665	0.805	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
1.37	0.59		0.618	0.768	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
1.33	0.60		0.584	0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
1.30	0.61		0.549	0.699	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
1.27	0.62		0.515	0.665	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63		0.483	0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
1.20	0.64		0.450	0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
1.17	0.65		0.419	0.569	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
1.14	0.66		0.388	0.538	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
1.11	0.67		0.358	0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
1.08	0.68		0.329	0.478	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
1.05	0.69		0.299	0.449	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
1.02	0.70		0.270	0.420	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.99	0.71		0.242	0.392	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992

❑ جدول انتخاب ظرفیت راکتیو خازنی با داشتن ضریب قدرت قبل وبعد از اصلاح صفحه دوم

Before compensation		kvar rating of capacitor bank to install per kW of load, to improve cos φ (the power factor) or tan φ, to a given value												
		tan φ	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.0
tan φ	cos φ	cos φ	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.96	0.72		0.213	0.364	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.94	0.73		0.186	0.336	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.91	0.74		0.159	0.309	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.88	0.75		0.132	0.82	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.86	0.76		0.105	0.255	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77		0.079	0.229	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.80	0.78		0.053	0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.78	0.79		0.026	0.176	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.75	0.80			0.150	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.72	0.81			0.124	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.70	0.82			0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.67	0.83			0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.65	0.84			0.046	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.62	0.85			0.020	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.59	0.86				0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.57	0.87				0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88				0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.51	0.89				0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.48	0.90					0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484

Value selected as an example on section 5.2

مثال: بمنظور اصلاح ضریب قدرت باری با توان ظاهری 666 kVA با ضریب 0.75 به 0.928 توان راکتیو مورد نیاز را محاسبه نمایید.

The active power demand is 666 x 0.75 = 500 kW.

indicates a value of 0.487 kvar of compensation per kW of load.

500 x 0.487 = 244 kvar of capacitive compensation

❑ تعاریف و روابط محاسباتی

تلفات هادی

$$P_1 = [\text{Demand kVA}/(\text{voltage} \times 1.732)]^2 \times (R \times 3)$$

ظرفیت نصب شده خازن

$$C = kW \times [\tan[\alpha \cos(\varphi_1)] - \tan[\alpha \cos(\varphi_2)]]$$

ضریب توان کاسته شده بار

$$(LRC) = 1 - (PF_1/PF_2)^2$$

تلفات کاسته شده بعد از اصلاح

$$P_{lr} = \text{Power losses} \times \text{Loss reduction coefficient}$$

ضریب بار

$$LF = \frac{kWHusedpermonth}{peakdemand \times averagehourpermonth}$$

توان درخواستی بعد از اصلاح

$$P_2 = P_1 - P_{1x} P_{lr} + capacitorloss$$

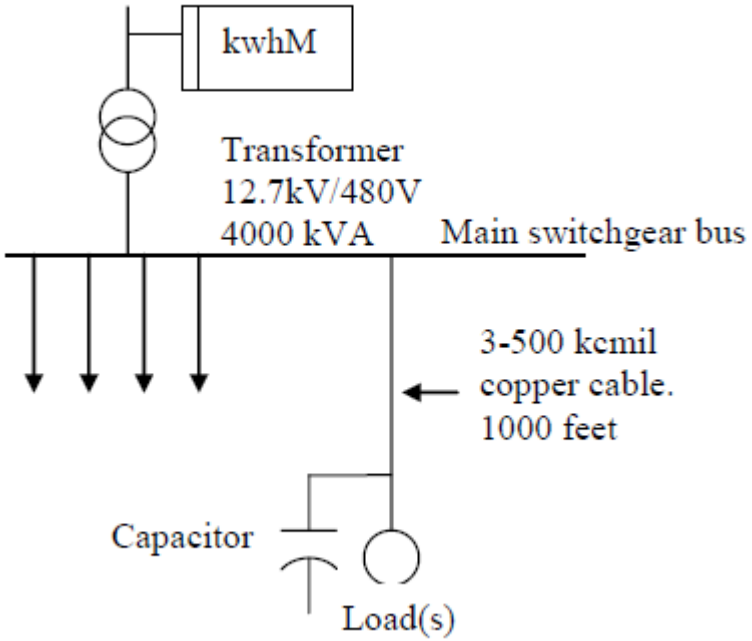
انرژی مصرفی بعد از اصلاح

$$kWH_2 = P_2 \times 720 \times LF$$

ارزش فعلی ناشی ازسرمایه گذاری

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{M_t}{(1+i)^t}$$

❑ تمرین در شبکه زیر با اصلاح ضریب قدرت از 0.8 به 0.97 میزان صرفه اقتصادی را تعیین نماید



اطلاعات سیستم :

Transformer rating: 4000 kVA with 5.75% impedance

One 3-conductor cable,

Resistance, 0.0290 ohms per phase per 1000 feet

The average monthly energy readings at this feeder (kWH2) are:

Energy charge: 160000 kWH

Peak demand: 300 kW

Operating PF: 0.80

اطلاعات تعرفه ای بار :

Generation Charge =:

$4.288 per kilowatt for all kilowatts of the billing kW
5.595 cents per kWH for the first 200 kWH per kilowatt of the Billing kW
4.241 cents per kWH for the next 200 kWH per kilowatt of the Billing kW
3.302 cents per kWH for all additional kWH