

Энергосберегающие технологии. Конденсаторная установка компенсации реактивной мощности УКРМ

Принцип действия

Установки конденсаторные предназначены для повышения коэффициента мощности $\cos(\varphi)$ электрических установок промышленных предприятий и распределительных сетей, а также автоматического поддержания его на заданном уровне (не ниже 0,9).

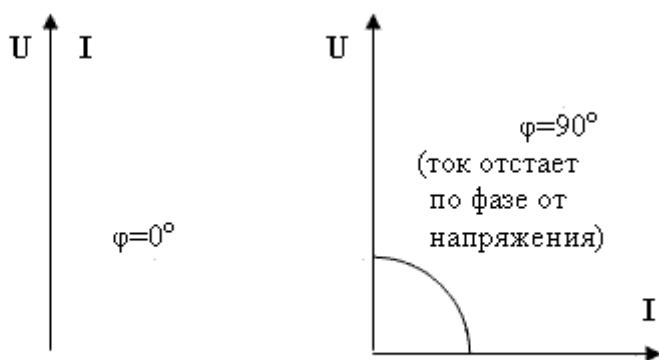
Такое автоматическое регулирование осуществляется специальным электронным регулятором активной мощности, отличающимся высокой чувствительностью и точностью.

Установка состоит из конденсаторных батарей, которые включаются и выключаются автоматически посредством контактов, оснащенных устройством, способным ограничивать пик тока включения на основе требуемой для установки емкостной реактивной мощности.

Конденсаторы, составляющие конденсаторные батареи, оснащены металлизированным пластмассовым регенерируемым диэлектриком, разрядными резисторами и разъединителем для защиты от избыточного давления.

Аппаратура размещена в металлическом окрашенном шкафу со степенью защиты IP31.

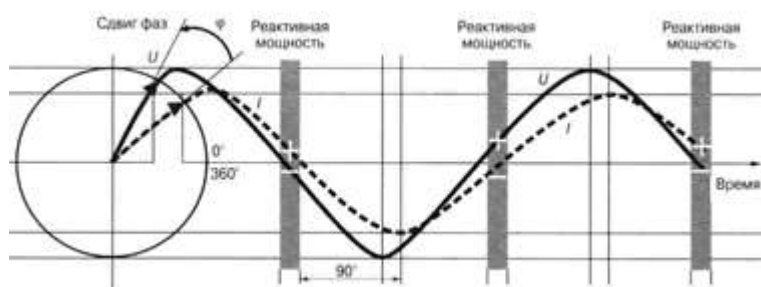
Теория: В электрических цепях, содержащих комбинированные сопротивления (нагрузку), в частности, активную (лампы накаливания, электронагреватель и др.) и индуктивную (электродвигатели, распределительные трансформаторы, сварочное оборудование, люминесцентные лампы и др.) составляющие, общую мощность, забираемую от сети, можно выразить следующей векторной диаграммой:



Активная нагрузка

Индуктивная нагрузка

Отставание тока по фазе от напряжения в индуктивных элементах обуславливает интервалы времени (см. рис.), когда напряжение и ток имеют противоположные знаки: напряжение положительно, а ток отрицателен и наоборот. В эти моменты мощность не потребляется нагрузкой, а подается обратно по сети в сторону генератора. При этом электроэнергия, запасаемая в каждом индуктивном элементе, распространяется по сети, не рассеиваясь в активных элементах, а совершая колебательные движения (от нагрузки к генератору и обратно). Соответствующую мощность называют реактивной.



Полная мощность складывается из активной мощности, совершающей полезную работу, и реактивной мощности, расходуемой на создание магнитных полей и создающей дополнительную нагрузку на силовые линии питания. Соотношение между полной и активной

мощностью, выраженное через косинус угла между их векторами, называется коэффициентом (фактором) мощности.

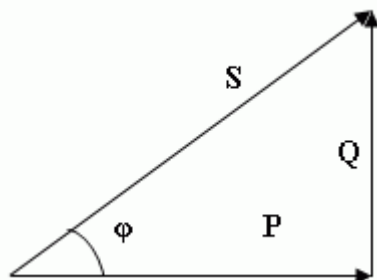
$$\cos(\Phi) = P/S.$$

P-активная мощность;

S-полная мощность;

Q-реактивная мощность.

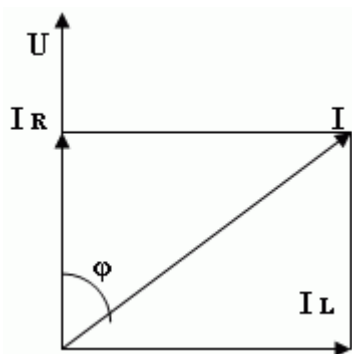
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



Активная энергия преобразуется в полезную – механическую, тепловую и др. энергии. Реактивная энергия не связана с выполнением полезной работы, однако она необходима для создания электромагнитного поля, наличие которого является необходимым условием для работы электродвигателей и трансформаторов. Потребление реактивной мощности от энергоснабжающей организации нецелесообразно, так как приводит к увеличению мощности генераторов, трансформаторов, сечения подводящих кабелей (снижение пропускной способности), а так же повышению активных потерь и падению напряжения (из-за увеличения реактивной составляющей тока питающей сети). Поэтому реактивную мощность необходимо получать (генерировать) непосредственно у потребителя. Эту функцию выполняют Установки компенсации реактивной мощности (УККРМ), основными элементами которых являются конденсаторы.



Установки УККРМ электроприемники с емкостным током, которые при работе формируют опережающую реактивную мощность (ток по фазе опережает напряжение) для компенсации отстающей реактивной мощности, генерируемой индуктивной нагрузкой.



Реактивная мощность Q пропорциональна реактивному току, протекающему через индуктивный элемент:

$$Q = U \times I_L,$$

где I_L – реактивный (индуктивный) ток, U – напряжение сети. Таким образом, полный ток, питающий нагрузку, складывается из активной и индуктивной составляющих:

$$I = I_R + I_L.$$

Для снижения доли реактивного тока в системе «генератор-нагрузка» параллельно нагрузке подключают компенсаторы. Реактивная мощность при этом уже не перемещается между генератором и нагрузкой, а совершает локальные колебания между реактивными элементами – индуктивными обмотками нагрузки и компенсатором. Такая компенсация реактивной мощности (снижение индуктивного тока в системе «генератор-нагрузка») позволяет, в частности, передать в нагрузку большую активную мощность при той же номинальной полной мощности генератора. Основной нагрузкой в промышленных электросетях являются асинхронные электродвигатели и распределительные трансформаторы. Эта индуктивная нагрузка в процессе работы является источником реактивной электроэнергии (**реактивной мощности**), которая совершает колебательные движения между нагрузкой и источником (генератором), не связана с выполнением полезной работы, а расходуется на создание электромагнитных полей и создает дополнительную нагрузку на силовые линии питания.

Реактивная мощность характеризуется задержкой (в индуктивных элементах ток по фазе отстает от напряжения) между синусоидами фаз напряжения и тока сети. Показателем потребления реактивной мощности является **коэффициент мощности** (КМ), численно равный косинусу угла (ϕ) между током и напряжением. КМ потребителя определяется как отношение потребляемой активной мощности к полной, действительно взятой из сети, т.е.: $\cos(\phi) = P/S$. Этим коэффициентом принято характеризовать уровень реактивной мощности двигателей, генераторов и сети предприятия в целом. Чем ближе значение $\cos(\phi)$ к единице, тем меньше доля взятой из сети реактивной мощности.

Пример: при $\cos(\phi) = 1$ для передачи 500 KW в сети переменного тока 400 V необходим ток значением 722 A. Для передачи той же активной мощности при коэффициенте $\cos(\phi) = 0,6$ значение тока повышается до 1203 A.

Соответственно все оборудование питания сети, передачи и распределения энергии должны быть рассчитаны на большие нагрузки. Кроме того, в результате больших нагрузок срок эксплуатации этого оборудования может соответственно снизиться.

Дальнейшим фактором повышения затрат является возникающая из-за повышенного значения общего тока теплоотдача в кабелях и других распределительных устройствах, в трансформаторах и генераторах.

Возьмем, к примеру, в нашем выше приведенном случае при $\cos(\phi) = 1$ мощность потерь равную 10 KW. При $\cos(\phi) = 0,6$ она повышается на 180 % и составляет уже 28 KW.

Таким образом, **наличие реактивной мощности является паразитным фактором**, неблагоприятным для сети в целом. В результате этого:

- возникают дополнительные потери в проводниках вследствие увеличения тока;
- снижается пропускная способность распределительной сети;
- отклоняется напряжение сети от номинала (падение напряжения из-за увеличения реактивной составляющей тока питающей сети).

Все сказанное выше является основной причиной того, что предприятия электроснабжения требуют от потребителей снижения доли реактивной мощности в сети.

Решением данной проблемы является **компенсация реактивной мощности** – важное и необходимое условие экономичного и надежного функционирования системы электроснабжения предприятия. Эту функцию выполняют устройства компенсации реактивной мощности УККРМ, основными элементами которых являются конденсаторы.

Правильная компенсация реактивной мощности позволяет:

- снизить общие расходы на электроэнергию;
- уменьшить нагрузку элементов распределительной сети (подводящих линий, трансформаторов и распределительных устройств), тем самым продлевая их срок

службы;

- снизить тепловые потери тока и расходы на электроэнергию;
- снизить влияние высших гармоник;
- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;
- добиться большей надежности и экономичности распределительных сетей.

Кроме того, в существующих сетях:

- исключить генерацию реактивной энергии в сеть в часы минимальной нагрузки;
- снизить расходы на ремонт и обновление парка электрооборудования;
- увеличить пропускную способность системы электроснабжения потребителя, что позволит подключить дополнительные нагрузки без увеличения стоимости сетей;
- обеспечить получение информации о параметрах и состоянии сети,
- **а во вновь создаваемых сетях** - уменьшить мощность подстанций и сечения кабельных линий, что снизит их стоимость.

Где необходима компенсация реактивной мощности

Применение установок УККРМ эффективно на предприятиях, где используются станки, компрессоры, насосы, сварочные трансформаторы, электропечи, электролизные установки и прочие потребители энергии с резкопеременной нагрузкой, то есть на производствах металлургической, горнодобывающей, пищевой промышленности, в машиностроении, деревообработке и производстве стройматериалов – то есть везде, где из-за специфики производственных и технологических процессов значение $\cos(\varphi)$ колеблется от 0,5 до 0,8.

Применение установок компенсации реактивной мощности УККРМ необходимо на предприятиях, использующих:

- Асинхронные двигатели ($\cos(\varphi) \sim 0.7$)
- Асинхронные двигатели, при неполной загрузке ($\cos(\varphi) \sim 0.5$)
- Выпрямительные электролизные установки ($\cos(\varphi) \sim 0.6$)
- Электродуговые печи ($\cos(\varphi) \sim 0.6$)
- Индукционные печи ($\cos(\varphi) \sim 0.2-0.6$)
- Водяные насосы ($\cos(\varphi) \sim 0.8$)
- Компрессоры ($\cos(\varphi) \sim 0.7$)
- Машины, станки ($\cos(\varphi) \sim 0.5$)
- Сварочные трансформаторы ($\cos(\varphi) \sim 0.4$)
- Лампы дневного света ($\cos(\varphi) \sim 0.5-0.6$)

Применение установок компенсации реактивной мощности УККРМ эффективно в производствах:

- Мясоперерабатывающее ($\cos(\varphi) \sim 0.6-0.7$)
- Хлебопекарное ($\cos(\varphi) \sim 0.6-0.7$)
- Лесопильное ($\cos(\varphi) \sim 0.55-0.65$)
- Молочное ($\cos(\varphi) \sim 0.6-0.8$)
- Механообработывающее ($\cos(\varphi) \sim 0.5-0.6$)
- Авторемонтное ($\cos(\varphi) \sim 0.7-0.8$)
- Пивоваренный завод ($\cos(\varphi) \sim 0.6$)

- Цементный завод ($\cos(\varphi) \sim 0.7$)
- Деревообрабатывающее предприятие ($\cos(\varphi) \sim 0.6$)
- Горный разрез ($\cos(\varphi) \sim 0.6$)
- Сталелитейный завод ($\cos(\varphi) \sim 0.6$)
- Табачная фабрика ($\cos(\varphi) \sim 0.8$)
- Порты ($\cos(\varphi) \sim 0.5$).

Виды компенсации.

Уровень реактивной мощности двигателей, генераторов и сети предприятия в целом характеризуется коэффициентом мощности потребителя, который определяется как отношение потребляемой активной мощности к полной, действительно взятой из сети, то есть $\cos(\varphi) = P/S$. Чем ближе значение $\cos(\varphi)$ к единице, тем меньше доля взятой из сети реактивной мощности. Например, $\cos(\varphi)$ асинхронных двигателей составляет примерно 0,7; $\cos(\varphi)$ электродуговых печей и сварочных трансформаторов - примерно 0,4; $\cos(\varphi)$ станков и машин не более 0,5 и т.д., поэтому полное использование мощностей сети возможно только при компенсации реактивной составляющей мощности.

Примечание: *Следует отметить, что обычно не рекомендуется компенсировать реактивную мощность полностью (до $\cos(\varphi)=1$), так как при этом возможна перекомпенсация (за счет переменной величины активной мощности нагрузки и других случайных факторов). Обычно стараются достигнуть значения $\cos(\varphi) = 0,90 \dots 0,95$.*

Компенсировать реактивную мощность возможно:

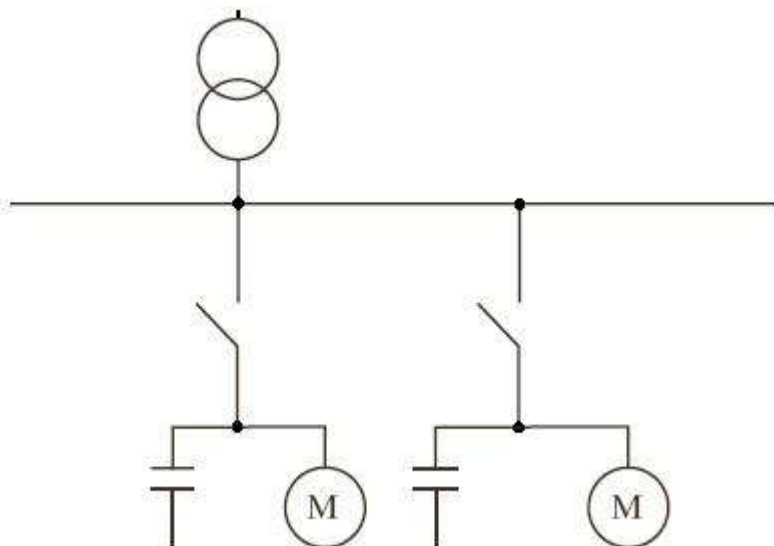
- синхронными компенсаторами;
- синхронными двигателями;
- косинусными конденсаторами (конденсаторными установками).

В настоящее время для компенсации реактивной мощности широкое применение получили конденсаторные установки УККРМ обладающие рядом преимуществ перед другими устройствами компенсации реактивной мощности:

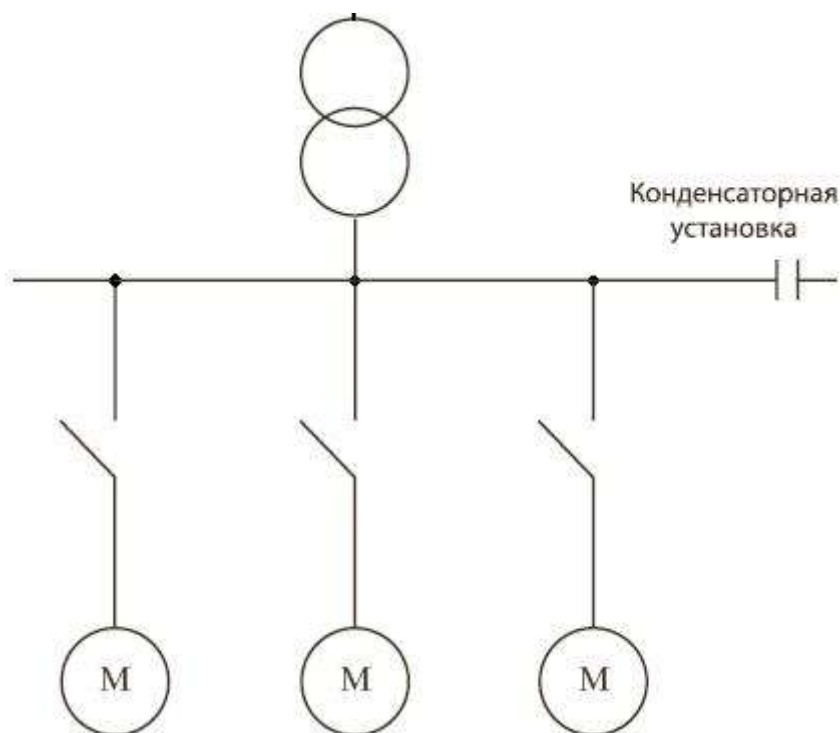
- малые потери активной мощности;
- отсутствие вращающихся частей, подверженных механическому износу;
- невысокие капиталовложения и затраты при эксплуатации;
- отсутствие шума во время работы;
- простота в монтаже и эксплуатации.

Выбор оборудования для компенсации реактивной мощности зависит от типа подключенного к сети оборудования.

Компенсация реактивной мощности может быть индивидуальной (местной) и централизованной (общей). В первом случае параллельно нагрузке подключают один или несколько (батарею) косинусных конденсаторов, во втором – некоторое количество конденсаторов (батарей) подключается к главному распределительному щиту.



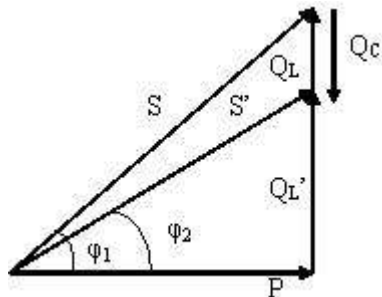
Индивидуальная компенсация – самый простой и наиболее дешевый способ компенсации реактивной мощности. Число конденсаторов (конденсаторных батарей) соответствует числу нагрузок и каждый конденсатор расположен непосредственно у соответствующей нагрузки (рядом с двигателем и т. п.). Такая компенсация хороша только для постоянных нагрузок (например, один или несколько асинхронных двигателей с постоянной скоростью вращения вала), то есть там, где реактивная мощность каждой из нагрузок (во включенном состоянии нагрузок) с течением времени меняется незначительно и для ее компенсации не требуется изменения номиналов подключенных конденсаторных батарей. Поэтому индивидуальная компенсация ввиду неизменного уровня реактивной мощности нагрузки и соответствующей реактивной мощности конденсаторов называется также **нерегулируемой**.



Централизованная компенсация – компенсация реактивной мощности с помощью одной **регулируемой установки УККРМ**, подключенной к главному распределительному щиту. Применяется в системах с большим количеством потребителей (нагрузок), имеющих большой разброс коэффициента мощности в течение суток, то есть для переменной нагрузки (например, несколько двигателей, размещенных на одном предприятии и подключаемых попеременно). В таких системах индивидуальная компенсация неприемлема, так как, во-первых, становится слишком дорогостоящей (при большом количестве оборудования устанавливается большое количество **конденсаторов**), и, во-вторых, возникает вероятность перекомпенсации (появление в сети перенапряжения). В случае централизованной компенсации конденсаторная установка оснащается специализированным контроллером

(автоматическим регулятором реактивной мощности) и коммутационно-защитной аппаратурой (контакторами и предохранителями). При отклонении значения $\cos(\phi)$ от заданного значения контроллер подключает или отключает определенные конденсаторные батареи (компенсация осуществляется ступенчато). Таким образом, контроль осуществляется автоматически, а мощность подключенных конденсаторов соответствует потребляемой в данный конкретный момент времени реактивной мощности, что исключает генерацию реактивной мощности в сеть и появление в сети перенапряжения.

Расчет необходимой мощности УККРМ



При выборе конденсаторной установки УККРМ требуемая суммарная мощность конденсаторных батарей определяется, исходя из формулы

$$Q_C = P \times (\operatorname{tg}(\phi_1) - \operatorname{tg}(\phi_2)).$$

Здесь P – потребляемая активная мощность;
 S и S' – полная мощность до и после компенсации;
 Q_C – требуемая емкостная мощность;
 Q_L и Q_L' – индуктивная составляющая реактивной мощности до и после компенсации.

Значение $(\operatorname{tg}(\phi_1) - \operatorname{tg}(\phi_2))$ определяется, исходя из значений $\cos(\phi_1)$ и $\cos(\phi_2)$.
 $\cos(\phi_1)$ – коэффициент мощности потребителя до установки компенсирующих устройств (действующий коэффициент мощности);
 $\cos(\phi_2)$ – коэффициент мощности после установки компенсирующих устройств (желаемый или задаваемый предприятием энергоснабжения коэффициент мощности).

Таким образом, формулу можно записать в следующем виде:

$$Q_C = P \times k,$$

где k – коэффициент, получаемый из таблицы в соответствии со значениями коэффициентов мощности $\cos(\phi_1)$ и $\cos(\phi_2)$.

Таблица определения реактивной мощности конденсаторной установки УККРМ (кВАР), необходимой для достижения заданного (желаемого) $\cos(\phi)$.

Текущий (действующий) $\cos(\phi)$	Требуемый (желаемый) $\cos(\phi)$									
	0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
	Коэффициент K									
0.30	2.43	2.48	2.56	2.64	2.70	2.75	2.82	2.89	2.98	3.18
0.32	2.21	2.26	2.34	2.42	2.48	2.53	2.60	2.67	2.76	2.96
0.34	2.02	2.07	2.15	2.23	2.28	2.34	2.41	2.48	2.56	2.77
0.36	1.84	1.89	1.97	2.05	2.10	2.17	2.23	2.30	2.39	2.59

0.38	1.68	1.73	1.81	1.89	1.95	2.01	2.07	2.14	2.23	2.43
0.40	1.54	1.59	1.67	1.75	1.81	1.87	1.93	2.00	2.09	2.29
0.42	1.41	1.46	1.54	1.62	1.68	1.73	1.80	1.87	1.96	2.16
0.44	1.29	1.34	1.42	1.50	1.56	1.61	1.68	1.75	1.84	2.04
0.46	1.18	1.23	1.31	1.39	1.45	1.50	1.57	1.64	1.73	1.93
0.48	1.08	1.13	1.21	1.29	1.34	1.40	1.47	1.54	1.62	1.83
0.50	0.98	1.03	1.11	1.19	1.25	1.31	1.37	1.45	1.63	1.73
0.52	0.89	0.94	1.02	1.10	1.16	1.22	1.28	1.35	1.44	1.64
0.54	0.81	0.86	0.94	1.02	1.07	1.13	1.20	1.27	1.36	1.56
0.56	0.73	0.78	0.86	0.94	1.00	1.05	1.12	1.19	1.28	1.48
0.58	0.65	0.70	0.78	0.86	0.92	0.98	1.04	1.11	1.20	1.40
0.60	0.58	0.63	0.71	0.79	0.85	0.91	0.97	1.04	1.13	1.33
0.61	0.55	0.60	0.68	0.76	0.81	0.87	0.94	1.01	1.10	1.30
0.62	0.52	0.57	0.65	0.73	0.78	0.84	0.91	0.99	1.06	1.27
0.63	0.48	0.53	0.61	0.69	0.75	0.81	0.87	0.94	1.03	1.23
0.64	0.45	0.50	0.58	0.66	0.72	0.77	0.84	0.91	1.00	1.20
0.65	0.42	0.47	0.55	0.63	0.68	0.74	0.81	0.88	0.97	1.17
0.66	0.39	0.44	0.52	0.60	0.65	0.71	0.78	0.85	0.94	1.14
0.67	0.36	0.41	0.49	0.57	0.63	0.68	0.75	0.82	0.90	1.11
0.68	0.33	0.38	0.46	0.54	0.59	0.65	0.72	0.79	0.88	1.08
0.69	0.30	0.35	0.43	0.51	0.56	0.62	0.69	0.76	0.85	1.05
0.70	0.27	0.32	0.40	0.48	0.54	0.59	0.66	0.73	0.82	1.02
0.71	0.24	0.29	0.37	0.45	0.51	0.57	0.63	0.70	0.79	0.99
0.72	0.21	0.26	0.34	0.42	0.48	0.54	0.60	0.67	0.76	0.96
0.73	0.19	0.24	0.32	0.40	0.45	0.51	0.58	0.65	0.73	0.94
0.74	0.16	0.21	0.29	0.37	0.42	0.48	0.55	0.62	0.71	0.91
0.75	0.13	0.18	0.26	0.34	0.40	0.46	0.52	0.59	0.68	0.88
0.76	0.11	0.16	0.24	0.32	0.37	0.43	0.50	0.57	0.65	0.86
0.77	0.08	0.13	0.21	0.29	0.34	0.40	0.47	0.54	0.63	0.83
0.78	0.05	0.10	0.18	0.26	0.32	0.38	0.44	0.51	0.60	0.80
0.79	0.03	0.08	0.16	0.24	0.29	0.35	0.42	0.49	0.57	0.78
0.80		0.05	0.13	0.21	0.27	0.32	0.39	0.46	0.55	0.75
0.81			0.10	0.18	0.24	0.30	0.36	0.43	0.52	0.72

0.82			0.08	0.16	0.21	0.27	0.34	0.41	0.49	0.70
0.83			0.05	0.13	0.19	0.25	0.31	0.38	0.47	0.67
0.84			0.03	0.11	0.16	0.22	0.29	0.36	0.44	0.65
0.85				0.08	0.14	0.19	0.26	0.33	0.42	0.62
0.86				0.05	0.11	0.17	0.23	0.30	0.39	0.59
0.87					0.08	0.14	0.21	0.28	0.36	0.57
0.88					0.06	0.11	0.18	0.25	0.34	0.54
0.89					0.03	0.09	0.15	0.22	0.31	0.51
0.90						0.06	0.12	0.19	0.28	0.48
0.91						0.03	0.10	0.17	0.25	0.46
0.92							0.07	0.14	0.22	0.43
0.93							0.04	0.11	0.19	0.40
0.94								0.07	0.16	0.36
0.95									0.13	0.33

Пример:

Активная мощность 300 кВт.

Действующий $\cos(\phi) = 0,7$.

Требуемый (желаемый) $\cos(\phi) = 0,96$.

Определяем из таблицы значение коэффициента $k = 0,73$.

Следовательно, требуемая мощность конденсаторной установки УККРМ $Q_c = 0,73 \times 300 = 219 \text{ кВАр}$.

Следует отметить, что обычно не рекомендуется компенсировать реактивную мощность полностью (до $\cos(\phi) = 1$), так как при этом возможна перекомпенсация (за счет переменной величины активной мощности нагрузки и других случайных факторов). Обычно стараются достигнуть значения $\cos(\phi) = 0,90 \dots 0,95$.