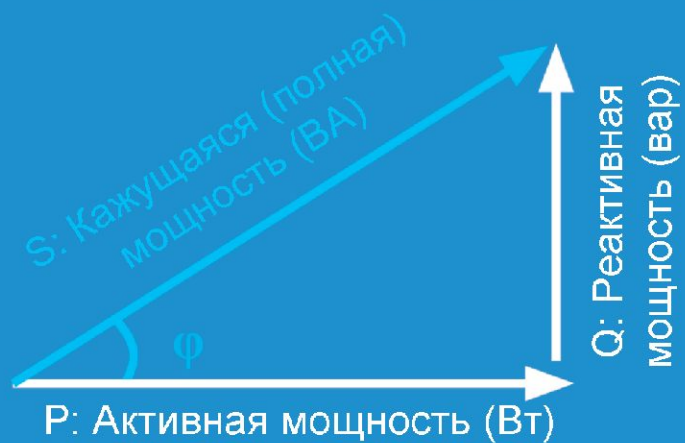


Компенсация реактивной Мощности



Электрическая мощность

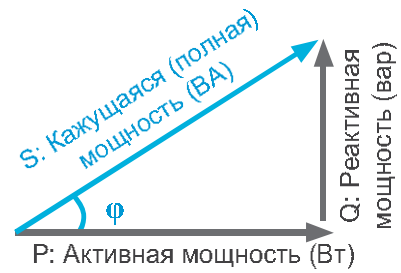
Понятие электрической мощности может быть истолковано как «способность электрооборудования выполнять механическую работу» или как «количество работы, выполненное за единицу времени».

Мощность измеряется в ваттах (Вт), наиболее часто используемые кратные единицы – это киловатты (кВт) и мегаватты (МВт), а дольные единицы – милливатты (мВт).

В оборудовании переменного тока, действие которого основано на электромагнитных процессах (трансформаторы, электродвигатели и иные устройства, генерирующие свои собственные магнитные поля), совместно существуют три вида мощности:

- Активная мощность (P)
- Реактивная мощность (Q)
- Кажущаяся (полная) мощность (S)

Связь этих трех различных видов мощности друг с другом можно описать через так называемый треугольник мощностей. Угол φ , образованный активной и полной мощностью, определяет фазовый сдвиг между напряжением (U) и током (I), а значение косинуса этого угла равно коэффициенту мощности (PF) при условии отсутствия гармонических искажений.



$$P = S \cdot \cos(\varphi)$$

$$Q = S \cdot \sin(\varphi)$$

где S:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ в трехфазной цепи}$$

$$S = U \cdot I \text{ в однофазной цепи}$$

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ (FP)

Коэффициент мощности (FP) – это отношение активной мощности (P) к полной (S). Его значение зависит от характера нагрузки системы. При этом активная нагрузка имеет коэффициент мощности, близкий к единице.

При подключении индуктивных или емкостных нагрузок коэффициент мощности может изменяться в зависимости от отставания или опережения тока по отношению к напряжению.

Этот сдвиг по фазе и определяет значение коэффициента мощности.

Значения коэффициента мощности для наиболее распространенных промышленных устройств:

Асинхронные двигатели при нагрузке 50%	0,73
Асинхронные двигатели при нагрузке 100%	0,85
Установки для электродуговой сварки	0,5
Оборудование для сварки трением	0,7-0,9
Сварочные выпрямители	0,7-0,9

Значения коэффициента мощности для небольших электроустановок:

Люминесцентные лампы	0,5
Газоразрядные лампы	0,4-0,6
Печи с диэлектрическим нагревом	0,85
Дуговые печи	0,8
Индукционные печи	0,85

Электрическая мощность

АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ (P)

Активная мощность представляет собой полезную мощность, измеряемую в ваттах (Вт). Она определяется количеством энергии, реально используемой при работе электрооборудования, т.е. энергии, снимаемой с вала двигателя для вращения механизма, энергии, выделяющейся на сопротивлении электронагревателя или расходуемой на излучение света лампы и т.д.

Активная мощность также является мощностью, покупаемой у энергоснабжающей компании. Она поступает к жилым домам, промышленным предприятиям, офисам и прочим потребителям из системы электроснабжения. Общее количество энергии, потребленное всем электрооборудованием, обычно учитывается счетчиками или другими приборами учета, которые устанавливаются поставщиками электроэнергии для измерения ее суммарного потребления за определенный промежуток времени, указываемый в договорах на электроснабжение.

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ (Q)

Реактивная мощность – это мощность, потребляемая электродвигателями, трансформаторами и прочим электрооборудованием, содержащим катушки индуктивности или обмотки, создающие электромагнитные поля. Эти индуктивности являются частью электрической цепи и для системы электроснабжения они являются нагрузкой, потребляющей как активную, так и реактивную мощность. Эффективность их работы зависит от коэффициента мощности; чем ниже его значение, тем больше значение потребленной реактивной мощности. Реактивная мощность не совершает никакой полезной работы, но оказывает негативное влияние на систему передачи и распределения электроэнергии, поэтому за ее потребление электросетевые компании накладывают штрафы или берут оплату по более высоким тарифам. Реактивная мощность измеряется в вольт-амперах-реактивных (вар), а наиболее распространенной является кратная единица измерения киловольтампер (квар).

ПОЛНАЯ (КАЖУЩАЯСЯ) МОЩНОСТЬ (S)

Кажущаяся, или полная мощность, в соответствии с теоремой Пифагора, представляет собой векторную сумму активной и реактивной мощностей. Эти две составляющие представляют собой общую входную мощность, а также суммарную мощность, отдаваемую в сеть электрогенераторами. Эта мощность передается по распределительным проводам, кабелям и линиям, поступая к потребителям: населению, промышленным предприятиям и т. п. Полная мощность измеряется в вольт-амперах (ВА).



Проблемы, связанные с реактивной мощностью

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОТЕРЬ В ПРОВОДАХ

- Нагрев проводов вызывает ускорение старения изоляции, снижение срока службы, способствует возникновению коротких замыканий.
- Снижение пропускной способности энергосистемы при генерации дополнительной мощности для компенсации потерь.
- Нагрев обмоток трансформаторов и снижение нагрузочной способности без видимых причин.

Тепловые (джоулевы) потери

$$P_{\text{потерь}} = I^2 \cdot R$$

I : ток, протекающий через проводник, в амперах (А)

R : сопротивление проводника, в Омах (Ом)

ПЕРЕГРУЗКА ГЕНЕРАТОРОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Повышение тока из-за низкого коэффициента мощности вызывает перегрузку генераторов и трансформаторов, и, как следствие, уменьшение их срока службы вследствие превышения расчетных характеристик.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Протекающий по электрическому проводнику ток вызывает падение на нем напряжения, величина которого определяется по закону Ома.

Возрастание величины тока из-за низкого значения коэффициента мощности вызывает увеличение падения напряжения, что приводит к снижению напряжения на нагрузке относительно требуемого значения, и, следовательно, приводит к снижению мощности, поступающей в нагрузку.



Преимущества компенсации реактивной мощности

УМЕНЬШЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ (ДЖОУЛЕВЫХ) ПОТЕРЬ

Если значение тока в законе Джоуля–Ленца выразить через соотношение для активной мощности, то можно получить следующую зависимость:

$$\frac{\text{Потери}_f}{\text{Потери}_i} = \left(\frac{\cos\varphi_i}{\cos\varphi_f} \right)^2$$

Потери_f: начальные потери

Потери_i: конечные потери

cosφ_i: нач. коэф. мощности

cosφ_f: конечный коэф. мощности

Снижение тепловых потерь:				
cosφ _{нач.}	cosφ _{кон.}			
	0,85	0,90	0,95	1,00
0,50	65,40%	69,14%	72,30%	75,00%
0,55	58,13%	62,65%	66,48%	69,75%
0,60	50,17%	55,56%	60,11%	64,00%
0,65	41,52%	47,84%	53,19%	57,75%
0,70	32,18%	39,51%	45,71%	51,00%
0,75	22,15%	30,56%	37,67%	43,75%
0,80	11,42%	20,99%	29,09%	36,00%
0,85	-	10,80%	19,94%	27,75%
0,90	-	-	10,25%	19,00%
0,95	-	-	-	9,75%

УМЕНЬШЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Учитывая ежедневные потери в электрических распределительных сетях, составляющие 8850 кВт·ч, и количество диоксида углерода (CO₂), выбрасываемого в атмосферу в процессе производства электроэнергии, равное 400 г/кВт·ч, ежедневно в атмосферу Испании выбрасывается 3,5 т углекислого газа. Это составляет 1,25% от годового значения выбросов при производстве электроэнергии.

Компенсация реактивной мощности позволяет снизить выбросы диоксида углерода до 1,36 т, что составляет почти 500 т в год.



Преимущества компенсации реактивной мощности



УМЕНЬШЕНИЕ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В процессе передачи электроэнергии на расстояние, ток вынужден преодолевать электрическое сопротивление (Z) проводов, что вызывает падения напряжения в линии.

Падение напряжения можно определить по закону Ома, оно равно произведению величины тока на сопротивление. Если выразить величину требуемого тока через активную мощность и подставить ее в закон Ома, получим следующее выражение:

$$\Delta U = \frac{P_{\text{актив.}} \cdot Z}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{cte}{\cos\varphi} \rightarrow \frac{\Delta U_f}{\Delta U_i} = \frac{\cos\varphi_i}{\cos\varphi_f}$$

ΔU - падение напряжения в линии,
 U - напряжение линии,
 Z - полное сопротивление провода.

Уменьшение падения напряжения в линиях электропередач:

$\cos\varphi_{\text{нач.}}$	$\cos\varphi_{\text{конеч.}}$			
	0,85	0,90	0,95	1,00
0,50	41,18%	44,44%	47,37%	50,00%
0,55	35,29%	38,89%	42,11%	45,00%
0,60	29,41%	33,33%	36,84%	40,00%
0,65	23,53%	27,78%	31,58%	35,00%
0,70	17,65%	22,22%	26,32%	30,00%
0,75	11,76%	16,67%	21,05%	25,00%
0,80	5,88%	11,11%	15,79%	20,00%
0,85	-	5,56%	10,53%	15,00%
0,90	-	-	5,26%	10,00%
0,95	-	-	-	5,00%

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ПРИРОСТ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При скомпенсированном коэффициенте мощности часть избыточной энергии, высвобождающейся за счет уменьшения потерь, может быть использована потребителями. Исходя из данных о потреблении и потерях, Испанская национальная энергоснабжающая компания может получить дополнительно 0,5% мощности.

Экономические преимущества компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности дает не только технические, но и экономические преимущества.

С января 2012 года испанские компании с потреблением по контракту от 15 кВт и выше (т.е. практически все коммерческие организации: от небольших магазинов до крупных промышленных предприятий) начали сталкиваться с незапланированным ростом расходов на электроэнергию. Это связано с вступлением в силу изменений в законодательстве, опубликованных в Официальном Бюллетене от 31 декабря 2009 года, направленных на повышение энергоэффективности за счет более ответственного использования электроэнергии коммерческими потребителями.

Стоимость реактивной мощности в Испании			
cosφ	€/квар·ч (2009)	€/квар·ч (2010)	Рост, % 2009-2010
$\cos \varphi \geq 0,95$	0	0	-
$0,9 \leq \cos \varphi < 0,95$	0,000013	0,041554	319,546%
$0,85 \leq \cos \varphi < 0,9$	0,017018	0,041554	144,18 %
$0,8 \leq \cos \varphi < 0,85$	0,034037	0,041554	22,08 %
$\cos \varphi < 0,8$	0,051056	0,062332	22,08 %

Компенсация реактивной мощности осуществляется путем установки в электросетях конденсаторных батарей, генерирующих емкостную составляющую реактивной мощности и снижающих потери в проводах, связанные с перетоками реактивной мощности.

При новых тарифах, любое промышленное предприятие, имеющее такое оборудование, как печи или люминесцентные лампы (см. раздел А), может пострадать из-за существенно возросших счетов с учетом в них потребления реактивной мощности.

Для потребителей, которые никогда ранее не платили за потребление реактивной мощности, новая поправка в законодательстве означает, что с января 2010 года они стали получать резко возросшие счета за электроэнергию.



Очевидно, что это «нововведение» особенно затронуло промышленные предприятия, которые используют трансформаторы, электродвигатели и прочее промышленные электроприемники, для работы которых необходимо магнитное поле.



Расчет емкостной энергии, необходимой для компенсации

Для определения коэффициента мощности с целью его коррекции используется метод, состоящий из трех этапов, иллюстрируемый на приведенной блок-схеме:

1. Расчет реактивной мощности установки
2. Расчет емкостной энергии, необходимой для компенсации
3. Расчет параметров ступеней батареи с учетом колебаний значения коэффициента мощности (FP)

РАСЧЕТ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Расчет реактивной мощности установки предполагает определение ее коэффициента мощности (FP). Следовательно, должен быть выполнен детальный анализ режимов объекта, для чего требуется:

- Анализатор электроэнергии
- Анализ счетов за потребление электроэнергии, как показано на блок-схеме.

РАСЧЕТ ЕМКОСТНОЙ ЭНЕРГИИ

После определения коэффициента мощности установки необходимо выбрать желаемое значение $FP_{\text{желаемый}}$ коэффициента мощности (при котором реактивная мощность будет полностью скомпенсирована). Это значение должно быть как можно ближе к единице.

Обычно применяется величина, называемая «**к-фактор**», представляющая собой разность между тангенсами начального и желаемого углов сдвига фаз. Наиболее часто встречающиеся значения коэффициента k приведены ниже.

Как только значения k и F рассчитаны, может быть определена мощность конденсатора ($P_{\text{квар}}$) в квар, необходимая для коррекции коэффициента мощности. Компания **RTR Energia S.L.** рекомендует увеличить значение этой мощности на 15-20% $P_{\text{квар}}$, чтобы предусмотреть возможное увеличение нагрузки.

$$P = \sum \text{Активные мощности (кВт}\cdot\text{ч)}$$

$$Q = \sum \text{Реактивные мощности (квар}\cdot\text{ч)}$$

$$FP = \cos(\varphi) = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Выбор желаемого значения

$$FP_{\text{желаемый}} = \cos(\varphi_{\text{желаемый}})$$

$$k = \tan(\varphi_{\text{нач.}}) - \tan(\varphi_{\text{желаемый}})$$

Определение значения F (кВт):

- Мощность (кВт), измеренная указателем макс. нагрузки.
- Запрошенная предприятием мощность (кВт)
- Произведение часового расхода электроэнергии (кВтч) и времени работы (в часах).

$$P_{\text{квар}} = k \cdot F$$

Пример:

$$F = 85 \text{ кВт (макс. потребление)}$$

$$\cos(\varphi_{\text{начальный}}) = 0,73$$

$$\cos(\varphi_{\text{желаемый}}) = 1$$

$$k = 0,936 \text{ - из таблицы:}$$

$$P_{\text{квар}} = 85 \cdot 0,936 = 79,56 \text{ квар}$$

$$P_{\text{квар рекомендуемая}} = 95 \text{ квар}$$

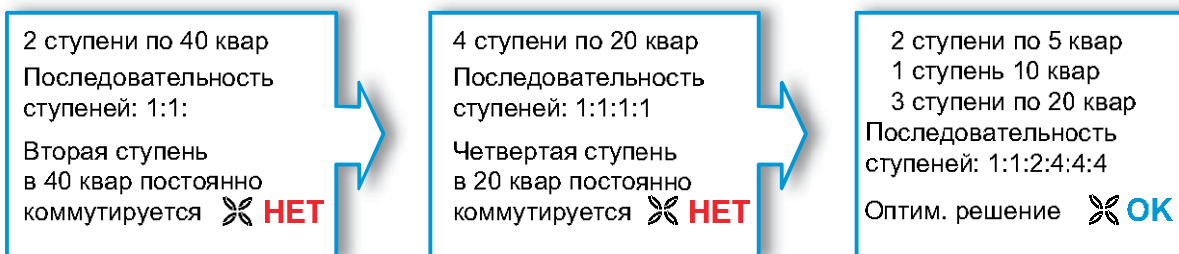
Расчет емкостной энергии, необходимой для компенсации

РАСЧЕТ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Если выбрана центральная схема компенсации (см. раздел F), то для определения количества ступеней конденсаторной батареи, необходимого для получения расчетной емкостной энергии на протяжении всего времени работы, нужно знать график колебаний коэффициента мощности во времени.

Например, предположим, что необходима батарея мощностью 80 квар, причем известно, что 60 квар требуются для компенсации реактивной мощности от непрерывно работающего электродвигателя, а оставшиеся 20 квар относятся к нагрузкам, которые могут периодически появляться и исчезать в течение суток.

- 1:1:1:1...мощности всех ступеней конденсаторной батареи одинаковы.
- 1:2:2:2...мощность первой ступени равна половине мощности других ступеней.
- 1:2:4:4...мощность первой ступени равна половине второй, которая, в свою очередь, имеет мощность, равную половине мощности оставшихся ступеней.



Наиболее часто встречающиеся значения коэффициента k

Коэф. мощности до компенсации	Коэффициент мощности после компенсации											
	cosφ	0,80	0,84	0,88	0,90	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
	tgφ	0,750	0,646	0,540	0,484	0,484	0,329	0,292	0,251	0,203	0,142	0,000
0,400	2,291	1,541	1,645	1,752	1,807	1,865	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291
0,430	2,100	1,350	1,454	1,560	1,615	1,674	1,771	1,808	1,849	1,897	1,957	2,100
0,460	1,930	1,180	1,284	1,391	1,446	1,504	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930
0,490	1,779	1,029	1,133	1,239	1,295	1,353	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779
0,520	1,643	0,893	0,997	1,103	1,158	1,217	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
0,550	1,518	0,768	0,873	0,979	1,034	1,092	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
0,580	1,405	0,655	0,759	0,865	0,920	0,979	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
0,610	1,299	0,549	0,653	0,759	0,815	0,873	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
0,640	1,201	0,451	0,555	0,661	0,716	0,775	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
0,670	1,108	0,358	0,462	0,568	0,624	0,682	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
0,700	1,020	0,270	0,374	0,480	0,536	0,594	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,730	0,936	0,186	0,290	0,396	0,452	0,510	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,760	0,855	0,105	0,209	0,315	0,371	0,429	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,790	0,776	0,026	0,130	0,236	0,292	0,350	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,800	0,750	-	0,104	0,210	0,266	0,324	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,810	0,724	-	0,078	0,184	0,240	0,298	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,820	0,698	-	0,052	0,158	0,214	0,272	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,830	0,672	-	0,026	0,132	0,188	0,246	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,840	0,646	-	-	0,106	0,162	0,220	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,850	0,620	-	-	0,080	0,135	0,194	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,860	0,593	-	-	0,054	0,109	0,167	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,870	0,567	-	-	0,027	0,082	0,141	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,880	0,540	-	-	-	0,065	0,114	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,890	0,512	-	-	-	0,028	0,086	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,900	0,484	-	-	-	-	0,058	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
0,910	0,456	-	-	-	-	0,030	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,920	0,426	-	-	-	-	-	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
0,930	0,395	-	-	-	-	-	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395
0,940	0,363	-	-	-	-	-	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
0,950	0,329	-	-	-	-	-	-	0,037	0,078	0,126	0,186	0,329
0,960	0,292	-	-	-	-	-	-	-	0,041	0,089	0,149	0,292
0,970	0,251	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,108	0,251
0,980	0,203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,203
0,990	0,142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,142

Структуры для компенсации реактивной мощности

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ

Индивидуальная компенсация используется в оборудовании с продолжительным режимом работы в случаях, когда потребление реактивной мощности весьма велико, главным образом, для электродвигателей и трансформаторов. Конденсаторы устанавливаются на каждую отдельную нагрузку, поэтому воздействие перетоков реактивной мощности испытывают только проводники, соединяющие нагрузку и конденсатор. Такая конфигурация имеет следующие преимущества:

- Реактивная мощность заключена «в границах» между нагрузкой и конденсатором. Поэтому остальная часть линии не испытывает воздействия реактивной мощности.
- Конденсатор включается только при подключении нагрузки (т.е. пуск и подключение конденсатора происходят одновременно), поэтому отсутствует необходимость в какой-либо дополнительной системе управления.

С другой стороны, такая конфигурация имеет следующие недостатки:

- Суммарная стоимость отдельных конденсаторов выше стоимости эквивалентного по мощности конденсатора для всех устройств.
- Конденсаторы будут недоиспользованы по мощности, когда те или иные нагрузки находятся в режиме простоя в течение длительного времени.

Возможность применения рассмотренного способа компенсации должна быть тщательно исследована в следующих случаях: при компенсации реактивной мощности асинхронных двигателей и для силовых трансформаторов ([см. раздел G](#)).



Структуры для компенсации реактивной мощности

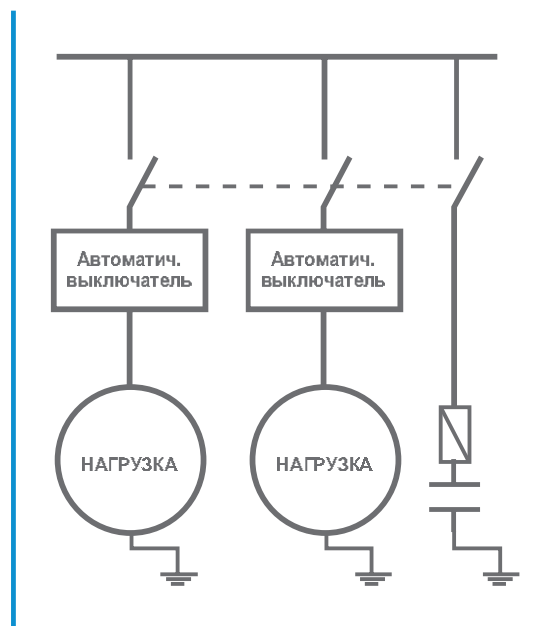
ГРУППОВАЯ КОМПЕНСАЦИЯ

Использование групповой компенсации предпочтительно в случае одновременного подключения нескольких нагрузок (одинаковых или различных) при относительно постоянной величине реактивной мощности.

Такая конфигурация имеет следующие преимущества:

- Конденсаторная батарея может быть размещена в щите управления двигателями.
- Конденсаторы используются только в процессе работы нагрузки.
- Низкая стоимость установки
- Реактивная мощность полностью исключена из распределительной электросети.

С другой стороны, недостатком такой структуры компенсации с точки зрения силовых проводников является присутствие реактивной мощности на участке между нагрузками и щитом управления двигателями.

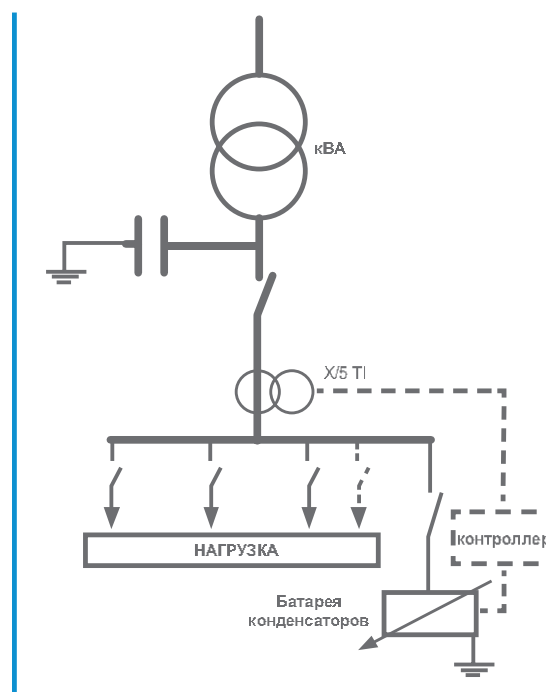


ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ КОМПЕНСАЦИЯ

Общая батарея конденсаторов устанавливается (размещается) на ответвлении, рядом со щитом питания. Суммарная емкость батареи разделена на блоки или ступени, соединенные с контроллером, который, при необходимости, может автоматически подключать или отключать их в зависимости от мгновенного потребления реактивной мощности. Такая конфигурация имеет следующие преимущества:

- Более эффективное использование конденсаторов.
- Лучшее регулирование напряжения в энергосистеме.
- Выходная мощность батареи регулируется в соответствии с текущей потребностью.

С другой стороны, недостаток такой конфигурации системы компенсации заключается в том, что линия электропередач остается нагруженной реактивной мощностью, и, кроме того, в такой конфигурации для осуществления регулирования необходим автоматический контроллер.



Компенсация реактивной мощности электродвигателей и трансформаторов

ПРЯМОЙ ПУСК ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

При компенсации отдельных асинхронных электродвигателей необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать явления самовозбуждения. Самовозбуждение возникает тогда, когда двигатель отключается от источника, но все еще по инерции продолжает вращаться до окончательной остановки. При отключении напряжения, если к клеммам двигателя подключено компенсирующее устройство, емкостные токи конденсатора, протекающие по обмоткам статора генерируют магнитное поле в роторе, направление которого совпадает с направлением спадающего магнитного поля. Таким образом, двигатель продолжает работать в режиме генератора, что может вызвать перенапряжения на клеммах двигателя.



Есть два возможных способа избежать возникновения явления самовозбуждения:

- Емкостные токи конденсатора должны быть ограничены за счет ограничения мощности конденсаторной батареи на таком уровне, при котором они не превышают ток холостого хода двигателя (стандарт **EN60831-1** рекомендует не допускать превышения величины, равной 90% реактивного тока двигателя на холостом ходу).
- Компенсация может выполняться с использованием контактора. В этом случае, если двигатель отключается от сети, конденсатор будет также отключен от зажимов двигателя.

На практике можно руководствоваться соотношением:

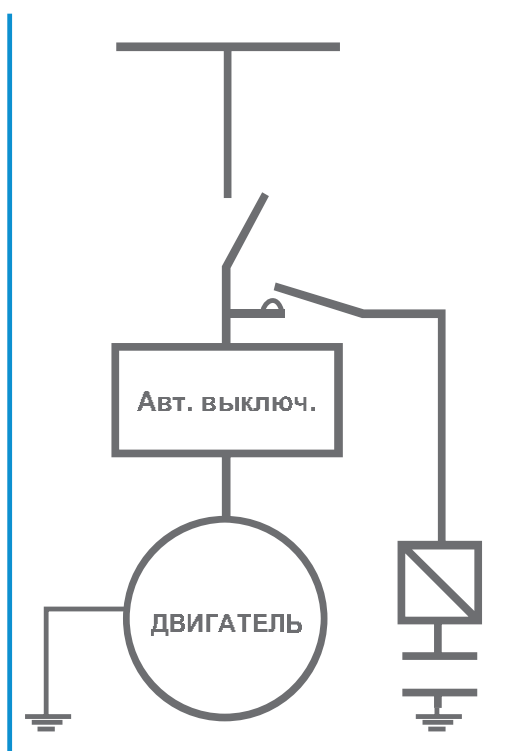
$$Q_{\text{компенсации}} = 0,3 \cdot P_{\text{номин. мощн. двигателя}}$$

$$Q_{\text{компенсации}} = P \cdot (\tan \varphi_i - \tan \varphi_f)$$

$$Q_{\text{компенсации}} \leq Q_{\text{предельная}}$$

$$Q_{\text{предельная}} = 0,9 \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_0$$

$$Q_{\text{предельная}} = 2 \cdot P (1 - \cos \varphi_{\text{исходн.}})$$



Компенсация реактивной мощности электродвигателей и трансформаторов

ПУСК С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ СО ЗВЕЗДЫ НА ТРЕУГОЛЬНИ

Иногда прямое подключение двигателя на сеть недопустимо в связи с большой величиной пусковых токов двигателя. В этом случае для пуска можно использовать схемы с переключением со звезды на треугольник.

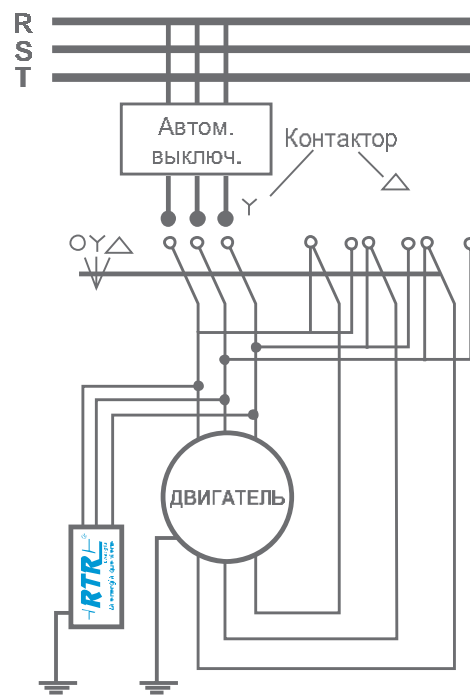
Если двигатель оснащен подобной схемой, то подключение конденсатора осуществляется через контактор тогда, когда завершится пуск двигателя (соединение в звезду), и он выйдет на установившийся режим.

Использование этого способа позволяет избежать бросков тока и перенапряжений при пуске двигателя.

ВЫБОР КОМПЕНСИРУЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Мощность двигателя		Мощность конденсаторов, квар			
кВт	л.с.	3000 об/мин	1500 об/мин	1000 об/мин	750 об/мин
7,5	10	2,50	2,50	2,50	5,00
11	15	2,50	2,50	5,00	5,00
15	20	5,00	5,00	5,00	7,50
18	25	5,00	5,00	7,50	10,00
22	30	7,50	7,50	10,00	10,00
30	40	10,00	10,00	12,50	15,00
37	50	12,50	15,00	17,50	20,00
45	60	15,00	17,50	20,00	22,50
55	75	17,50	25,00	22,50	25,00
75	100	22,50	27,50	27,50	32,50
90	125	25,00	30,00	35,00	40,00
110	150	30,00	35,00	42,50	45,00
132	180	37,50	45,00	45,00	55,00
160	220	45,00	50,00	60,00	65,00
200	270	50,00	60,00	67,50	80,00
250	340	60,00	65,00	75,00	85,00
280	380	70,00	77,50	85,00	95,00
355	485	85,00	95,00	107,50	122,50
400	544	100,00	105,00	125,00	135,00

Примечание: численные значения в таблице приведены исключительно в ознакомительных целях



Коммутация из состояния покоя в звезду:

1. Разомкнуть контакты, соответствующие включению в треугольник.
2. Подключить к сети.
3. Подключить к нейтрали.

Коммутация со звезды на треугольник:

1. Отключить нейтраль.
2. Перевести контакты в положение «треугольник».

Компенсация реактивной мощности электродвигателей и трансформаторов

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

В случае трансформатора требуется компенсировать его реактивную мощность при работе на холостом ходу Q_0 (она является постоянной величиной), а также потребляемую реактивную мощность под нагрузкой.

Ниже в таблице приведены примерные значения реактивной мощности конденсаторов в зависимости от мощности трансформатора.

$$Q_{\text{компенсации}} = Q_0 + Q_{\text{нагрузки}}$$

$$Q_{\text{компенсации}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{I_0}{100} + \frac{U_{\text{сз}}}{100} \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \cdot S_n$$

где:

I_0 = ток намагничивания (%),

U = номин. напряжение первичной обмотки,

$U_{\text{сз}}$ = напряжение короткого замыкания (%),

S = номинальная полная мощность,

S_n = полезная мощность.

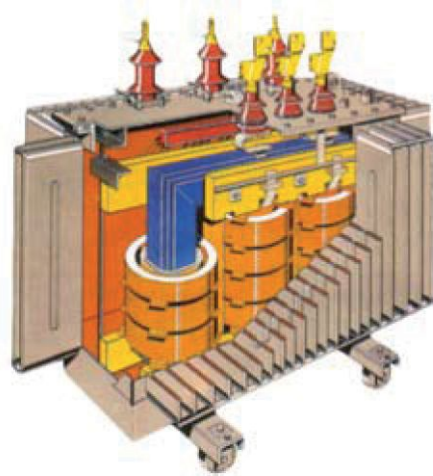
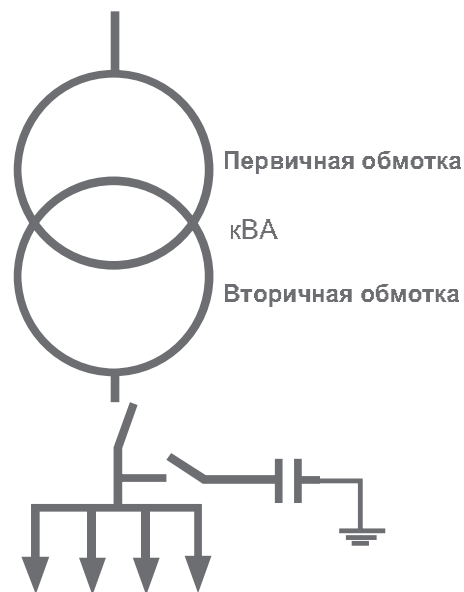


ТАБЛИЦА КОМПЕНСАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Мощность кВА	Напряжение < 24 кВ	Напряжение > 24 кВ
25	2,50	2,50
50	5,00	5,00
100	7,50	10,00
160	10,00	12,50
250	15,00	20,00
400	20,00	25,00
500	25,00	30,00
630	30,00	40,00
800	45,00	50,00
1000	60,00	65,00
1250	70,00	80,00
1600	90,00	100,00
2000	112,50	120,00
2500	155,00	165,00

Примечание: численные значения в таблице приведены исключительно в ознакомительных целях



На практике можно руководствоваться соотношением:

$$Q_{\text{компенсации}} = 0,05 \cdot S_n \text{ для } S_n \leq 1000 \text{ кВА}$$

$$Q_{\text{компенсации}} = 0,03 \cdot S_n \text{ для } S_n > 1000 \text{ кВА}$$

Контроль качества, установка, меры безопасности

При производстве силовых конденсаторов компании **RTR Energía S.L.** осуществляется строжайший контроль качества, обеспечивающий надлежащую работу конденсаторов в любых условиях эксплуатации. Для достижения оптимальных характеристик конденсаторов настоятельно рекомендуется соблюдать прилагаемые рекомендации по монтажу и установок.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Распредустройства должны быть рассчитаны, прежде всего, на возможные аварийные режимы и иметь габариты, рассчитанные на ток, в 1,6–2 раза превышающий номинальный ток конденсаторов.

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Аналогично распредустройствам, предохранители должны быть рассчитаны на возможные аварийные режимы и обеспечивать возможность работы при ударных токах заряда и разряда конденсаторов. Поэтому их номиналы должны иметь коэффициент запаса от 1,6 до 2 по отношению к номинальному току конденсаторов.

ПРОВОДНИКИ

По тем же причинам минимальное сечение проводников должно быть в 1,8 раза больше, чем исходя из номинального тока.

ТЕМПЕРАТУРА

Для надежной работы конденсаторов температура окружающей среды должны находиться в диапазоне от минус 25°C до +55°C. По этой причине, в случае установки в шкафу дросселей, конденсаторы следует располагать ниже их, чтобы обеспечить необходимые условия для охлаждения и вентиляции.



**Underwriters
Laboratories**



Компания **RTR Energía S.L.** стремится к постоянному совершенствованию своей продукции. Ее система управления качеством сертифицирована в соответствии с ISO 9001:2008 AENOR и IQNet.



Никогда не выполняйте никаких работ с заряженными конденсаторами. Перед тем, как прикоснуться к конденсатору (даже при наличии разрядных сопротивлений) его выводы следует закоротить и заземлить.

Пример: торговое предприятие

Продemonстрируем реальное применение компенсации коэффициента мощности на примере гостиничного комплекса. Установленное электрооборудование требует 40 кВт мощности, при этом ежемесячный счет составляет €1468,66 за потребленную мощность плюс €420,42 за реактивную мощность как таковую. Следовательно, компенсируя реактивную мощность, можно сэкономить на оплате электроэнергии порядка 28%.

Статистические данные потребления мощности, приведенные ниже, разделены на шестидневные интервалы. Для каждого интервала приведены значения активной и реактивной мощности и значение максимальной потребленной мощности (по показаниям указателя максимальной нагрузки).

РАСЧЕТ ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Следуя расчетному алгоритму, приведенному в **Приложении Е**, и принимая контрактную мощность в качестве величины F , можно определить коэффициент мощности оборудования и мощность необходимого компенсирующего устройства.

РАСЧЕТ СТУПЕНЕЙ

Следуя алгоритму, приведенному в **Приложении Е**, и принимая в качестве F соответствующие значения указателя максимальной нагрузки для каждого интервала, можно определить значения коэффициента мощности и требуемой мощности компенсирующего устройства.

Расчет мощности	$FP = \cos\varphi$	k	$F(\text{кВт})$	$P_{\text{квар}}$
	0,73	0,935	40	37,42

Расчет мощности	$FP = \cos\varphi$	k	$F(\text{кВт})$	$P_{\text{квар}}$
P1	0,77	0,826	35	28,89
P2	0,77	0,841	40	33,65
P3	0,61	1,291	22	28,40
P4	0,78	0,807	32	25,82
P5	0,70	1,012	32	32,37
P6	0,68	1,085	21	22,79



Интервал времени	Потребление	
Активная мощность P1	1737	кВт·ч
Активная мощность P2	4863	кВт·ч
Активная мощность P3	1427	кВт·ч
Активная мощность P4	683	кВт·ч
Активная мощность P5	1820	кВт·ч
Активная мощность P6	610	кВт·ч
Реактивная мощность P1	1434	квар·ч
Реактивная мощность P2	4091	квар·ч
Реактивная мощность P3	1842	квар·ч
Реактивная мощность P4	551	квар·ч
Реактивная мощность P5	1841	квар·ч
Реактивная мощность P6	662	квар·ч
Максимальное потребление P1	35	кВт
Максимальное потребление P2	40	кВт
Максимальное потребление P3	22	кВт
Максимальное потребление P4	32	кВт
Максимальное потребление P5	32	кВт
Максимальное потребление P6	21	кВт

Таким образом, мощность конденсаторной батареи должна составлять не менее 37,5 квар.

Компания **RTR Energía S.L.** рекомендует увеличить это значение на 15-20%, чтобы иметь запас на возможное увеличение потребляемой мощности. Поэтому выбранная батарея конденсаторов, в данном случае серии Mural (настенный монтаж), имеет мощность 45 квар, с 5 ступенями (1x5+4x10).

Батареи серии Minimural в данном случае неприемлемы, поскольку они имеют только три ступени (3x15).

Выводы

Компенсация реактивной мощности дает следующие преимущества:

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ за счет снижения потерь на передачу энергии. Снизив потери, мы избавляемся от необходимости производить избыточное количество энергии для компенсации этих потерь. Кроме того, снижается выделение парниковых газов, сопутствующих производству электроэнергии.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ: избыточная энергия, производимая для компенсации потерь, теперь может быть использована на полезное потребление. Основываясь на статистических данных об энергопотреблении и потерях, пропускная способность Национальной энергосистемы Испании увеличилась бы на 0,5%, что соответствует энергии, достаточной для обеспечения в течение более чем двух лет потребности в электроэнергии городов Сеута и Мелилья.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ за счет исключения необходимости увеличения сечения проводников даже при возрастании токов. Соответственно, материалы, которые существенно влияют на стоимость системы (напр. медь), используются более эффективно.

УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН. Наличие реактивной мощности приводит к увеличению тока, что вызывает снижение срока службы электрооборудования.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ за счет снижения падений напряжения при передаче электроэнергии. Эти падения напряжения вызывают снижение полезной мощности на нагрузке, такой как электродвигатели, осветительные приборы и др.

ЭКОНОМИЯ на счетах за электроэнергию, достигаемая путем исключения штрафов за потребление реактивной мощности. На сегодняшний день эти штрафы могут достигать 30% от общей суммы счета за электроэнергию.

