

Устройства компенсации реактивной мощности SystemeSet

Каталог 2023



Устройства компенсации реактивной мощности SystemeSet

Введение	2
Руководство по коррекции коэффициента мощности	7
Конденсаторы низкого напряжения	17
Антирезонансные дроссели	23
Контроллеры коэффициента мощности	27
Приложение	31

Ваши задачи...

Оптимизировать энергопотребление

- Сократить расходы на оплату электроэнергии
- Сократить потери электроэнергии
- Сократить выбросы CO₂

Повысить надежность электроснабжения

- Компенсировать вредные для технологического процесса провалы напряжения
- Предотвратить нежелательные аварийные отключения и перерывы электроснабжения

Увеличить эффективность Вашего бизнеса

- Оптимизировать размер установки
- Уменьшить гармонические искажения с целью предотвращения преждевременного старения оборудования и порчи его чувствительных компонентов

... и наши решения...

Компенсация реактивной мощности

Присутствие реактивной энергии в электрической сети приводит к возрастанию линейных токов, передающих нагрузке необходимое количество активной энергии.

Основные последствия этого явления:

- необходимость увеличения сечения проводников линий электропередачи и распределительных сетей;
- частые перепады напряжения в распределительных линиях;
- дополнительные потери мощности.

Для промышленных потребителей это приводит к возрастанию расходов на оплату электроэнергии, что вызвано:

- штрафными надбавками, накладываемыми поставщиками электроэнергии за избыточную реактивную мощность;
- увеличением потребления полной мощности (измеряемой в кВА);
- повышенным энергопотреблением внутри электроустановок.

Цель компенсации реактивной мощности (КРМ) – оптимизация работы электроустановки за счет снижения энергопотребления и увеличения доступной мощности.

Кроме того, КРМ позволяет уменьшить выбросы CO₂ и сократить расходы на электроэнергию в среднем на 5-10%.

Оптимизируйте электрические сети и сократите расходы на электроэнергию

Коррекция коэффициента мощности

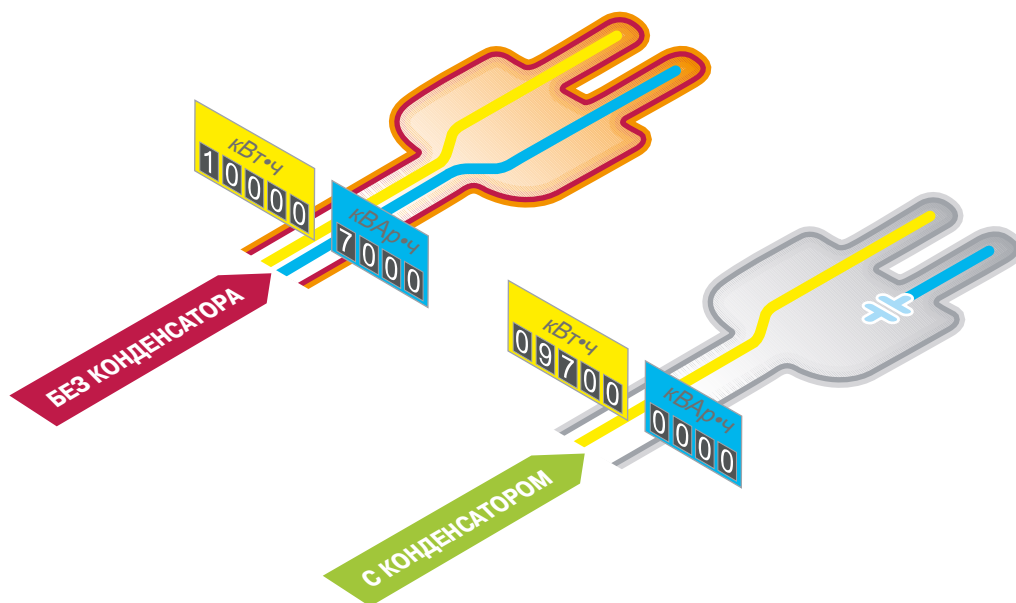
Каждая электрическая машина потребляет или производит активную (измеряемую в кВт) и реактивную (измеряемую в кВАр) мощность. Их векторная сумма является полной мощностью, измеряемой в кВА: $(\text{kVA})^2 = (\text{kW})^2 + (\text{kVAr})^2$.

Отношение активной мощности (кВт) к полной (кВА) называется коэффициентом мощности (КМ).

$$\text{КМ} = (\text{kW}) / (\text{kVA}).$$

Задачей КРМ является увеличение КМ или «коррекция коэффициента мощности».

Обычно она решается путем подключения к сети конденсаторных батарей, производящих реактивную энергию в количестве, достаточном для компенсации реактивной мощности, возникающей в нагрузке.



Увеличьте надежность и безопасность Ваших электроустановок

Качество и надежность

- Непрерывность работы благодаря высоким характеристикам и длительному сроку службы конденсаторов.
- Заводские испытания 100% продукции.
- Разработка и проектирование в соответствии со строгими международными стандартами.

Безопасность

- Испытанные защитные устройства, встроенные в каждую фазу конденсатора.
- Предохранитель с мембраной избыточного давления для безопасного отсоединения конденсатора в конце срока службы.
- Все используемые материалы и компоненты не содержат полихлорированных бифенилов (ПХБ).

Эффективность и производительность

- Инновационная эргономичная конструкция, обеспечивающая удобство установки и подключения.
- Специальная конструкция компонентов, сокращающая время монтажа и обслуживания.
- Все компоненты и решения доступны через сеть наших дистрибьюторов и партнеров.



Новый подход к созданию электроустановок



Всестороннее предложение

Оборудование КРМ и фильтрации гармоник входит в комплексное предложение продуктов, полностью скоординированных для решения всех задач по распределению электроэнергии среднего и низкого напряжения.

Все эти продукты совместимы по механическим, электрическим и коммуникационным характеристикам.

Это позволяет оптимизировать электроустановку и сделать её более эффективной за счет:

- непрерывности электроснабжения;
- уменьшения потерь мощности;
- гарантированной возможности расширения;
- эффективного управления и контроля.

Таким образом, у Вас есть всё необходимое для создания оптимизированной электроустановки – надежной, расширяемой и соответствующей действующим стандартам.

Инструменты для проектирования и конфигурирования электроустановок

Используя продукты Systeme Electric, Вы получаете полный набор инструментов для работы и настройки нашего оборудования в соответствии с действующими стандартами и общепринятой инженерной практикой. К таким инструментам относятся регулярно обновляемые технические описания и руководства, конфигурационное программное обеспечение и учебные курсы.

Поскольку каждая электроустановка уникальна, то универсального решения не существует. Многочисленные комбинации оборудования позволят Вам добиться полной персонализации технических решений.

Тем самым Вы сможете выразить свой творческий потенциал и подчеркнуть свой опыт в проектировании, разработке и эксплуатации электрооборудования.



Знания Systeme Electric, объединенные с Вашим опытом и творческим потенциалом, позволят Вам создавать оптимальные по составу, надежные и расширяемые установки, соответствующие действующим нормам.

Руководство по коррекции коэффициента мощности

Содержание

Зачем нужно компенсировать реактивную мощность?

Принцип компенсации реактивной мощности.	8
Преимущества компенсации реактивной мощности	9

Методика выбора компенсации

Шаг 1: Расчет требуемой реактивной мощности	10
Шаг 2: Выбор режима компенсации	12
Шаг 3: Выбор типа компенсации	13
Шаг 4: Учет условий эксплуатации и содержания гармоник в сети.	14

Конденсаторы низкого напряжения с антирезонансными дросселями

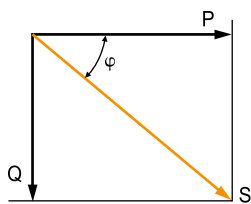
Номинальное напряжение и ток



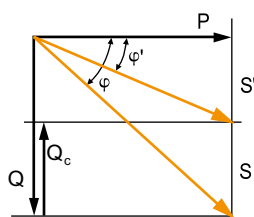
Зачем нужно компенсировать реактивную мощность?

Циркуляция реактивной энергии в распределительных цепях приводит к увеличению тока, что вызывает:

- перегрузку трансформаторов;
- перегрев силовых кабелей;
- дополнительные потери;
- сильное падение напряжения;
- увеличение энергопотребления и расходов на оплату электроэнергии;
- уменьшение распределяемой активной мощности.



В векторном представлении коэффициент мощности (P/S) равен $\cos\varphi$



Принцип компенсации реактивной мощности

Во всех сетях переменного тока потребляется два вида мощности – активная и реактивная.

- **Активная мощность P** (кВт) – это полезная мощность, потребляемая нагрузками, такими как электродвигатели, лампы, нагреватели, компьютеры и т. д. Она полностью переходит в механическую мощность (работу), тепло или свет.
- **Реактивная мощность Q** (кВАр) расходуется только на создание магнитных полей в сердечниках электрических машин, двигателей и трансформаторов.

Полная мощность S (кВА) является векторной суммой активной и реактивной мощности.

Циркуляция реактивной мощности в электрической сети приводит к серьезным последствиям в техническом и экономическом плане. Увеличение реактивной мощности при передаче одной и той же активной мощности P означает увеличение полной мощности, а следовательно – возрастание протекающего тока.

Активная энергия – это активная мощность, переданная за единицу времени (кВт·ч). Реактивная энергия – это реактивная мощность, переданная за единицу времени (кВАр·ч).

В электрической сети реактивная энергия передается вместе с активной.



Энергосбытовая компания поставляет реактивную энергию и выставляет счет за её потребление

По этой причине можно получить большое преимущество, создав источник реактивной энергии на стороне нагрузки для предотвращения ненужной циркуляции энергии в сети. Эта операция называется **«коррекцией коэффициента мощности»**. Она заключается в подключении конденсаторов, производящих реактивную энергию со знаком, противоположным знаку энергии, потребляемой нагрузками (такими, как электродвигатели).

На диаграмме слева видно, что в результате полная мощность S' уменьшается, а коэффициент мощности P/S' увеличивается.

Сети генерации и передачи электроэнергии частично разгружаются, потери мощности сокращаются, что приводит к увеличению пропускной способности линий электропередачи.



Реактивная энергия производится конденсаторами. Энергосбытовая компания не выставляет счет за реактивную энергию.

Зачем нужно компенсировать реактивную мощность?

Оптимизация коэффициента мощности (КМ) приносит ряд технических и экономических преимуществ.

Преимущества компенсации реактивной мощности

Экономия на оплате электроэнергии

- Отсутствие штрафов за потребление значительной реактивной мощности, сокращение потребления полной мощности.
- Сокращение потерь в сердечниках трансформаторов и проводниках электроустановки.

Пример:

При КМ = 0,7 потери в трансформаторе номинальной мощностью 630 кВА составляли 6500 Вт.

После компенсации реактивной мощности был достигнут КМ = 0,98, а потери сократились до 3316 Вт, то есть на 49%.

Увеличение доступной мощности

Высокий КМ способствует оптимизации электроустановки, позволяя более эффективно использовать её компоненты. При установке устройств КРМ на стороне низкого напряжения можно «разгрузить» трансформатор СН/НН и, таким образом, увеличить мощность, доступную на его вторичной обмотке.

В таблице ниже показано, как возрастает доступная мощность на выходе трансформатора при увеличении КМ с 0,7 до 1.

Коэффициент мощности	Увеличение доступной мощности
0,7	0%
0,8	+ 14%
0,85	+ 21%
0,90	+ 28%
0,95	+ 36%
1	+ 43%

Уменьшение размера установки

Использование устройств КРМ позволяет уменьшить сечение проводников, так как при той же активной мощности установка будет потреблять меньший ток.

В таблице ниже приведены коэффициенты, на которые следует умножить сечение проводников при различных значениях КМ.

Коэффициент мощности	Повышающий коэффициент для сечения проводников
1	1
0,80	1,25
0,60	1,67
0,40	2,50

Повышение стабильности напряжения в электроустановке

Подключение конденсаторов позволяет стабилизировать напряжение на вышерасположенном участке цепи. Это предотвращает перегрузку сети и уменьшает содержание гармоник, благодаря чему Вам не придется завышать номинал электроустановки.

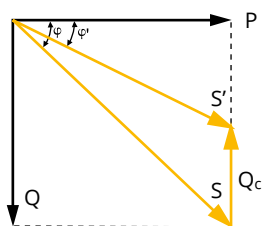


Методика выбора компенсации

Процесс выбора оборудования КРМ разбит на **четыре шага**.

- **Расчет требуемой реактивной энергии**
- **Выбор режима компенсации:**
 - централизованная – для всей электроустановки;
 - секционная – для групп нагрузок;
 - индивидуальная – для отдельных нагрузок, таких как крупные электродвигатели.
- **Выбор типа компенсации:**
 - нерегулируемая – путем подключения конденсаторной батареи фиксированной емкости;
 - автоматическая – путем включения различного количества ступеней регулирования для подачи требуемого количества реактивной энергии;
 - динамическая – для компенсации сильно и быстро изменяющихся нагрузок.
- **Учет условий эксплуатации и содержания гармоник в сети**

Шаг 1: Расчет требуемой реактивной мощности



Задача – определить реактивную мощность Q_c (кВАр), которую следует подать, чтобы обеспечить заданное увеличение коэффициента мощности $\cos \phi$ и уменьшение полной мощности S .

Для $\phi' < \phi$, мы получаем: $\cos \phi' > \cos \phi$ и $\text{tg } \phi' < \text{tg } \phi$.

Это показано на диаграмме.

Как видно из диаграммы, Q_c можно рассчитать по формуле $Q_c = P * (\text{tg } \phi - \text{tg } \phi')$.

Q_c = реактивная мощность конденсаторной батареи (кВАр).

P = активная мощность нагрузки, кВт.

$\text{tg } \phi$ = отношение реактивной мощности к активной до компенсации.

$\text{tg } \phi'$ = отношение реактивной мощности к активной после компенсации.

Параметры ϕ и $\text{tg } \phi$ рассчитываются исходя из ежемесячного потребления активной и реактивной энергии (по счетам за электроэнергию) или измеряются непосредственно на электроустановке.

Определить реактивную мощность можно по следующим таблицам:

До компенсации		Реактивная мощность (кВАр), подаваемая на 1 кВт нагрузки для достижения требуемого $\cos \phi'$ или $\text{tg } \phi'$							
$\text{tg } \phi$	$\cos \phi$	$\text{tg } \phi'$	0,75	0,62	0,48	0,41	0,33	0,23	0,00
		$\cos \phi'$	0,80	0,85	0,90	0,925	0,95	0,975	1,000
1,73	0,5		0,98	1,11	1,25	1,32	1,40	1,50	1,73
1,02	0,70		0,27	0,40	0,54	0,61	0,69	0,79	1,02
0,96	0,72		0,21	0,34	0,48	0,55	0,64	0,74	0,96
0,91	0,74		0,16	0,29	0,42	0,50	0,58	0,68	0,91
0,86	0,76		0,11	0,24	0,37	0,44	0,53	0,63	0,86
0,80	0,78		0,05	0,18	0,32	0,39	0,47	0,57	0,80
0,75	0,80			0,13	0,27	0,34	0,42	0,52	0,75
0,70	0,82			0,08	0,21	0,29	0,37	0,47	0,70
0,65	0,84			0,03	0,16	0,24	0,32	0,42	0,65
0,59	0,86				0,11	0,18	0,26	0,37	0,59
0,54	0,88				0,06	0,13	0,21	0,31	0,54
0,48	0,90					0,07	0,16	0,26	0,48

Пример. Имеется электродвигатель мощностью 1000 кВт с $\cos \phi = 0,8$ ($\text{tg } \phi = 0,75$). Чтобы получить $\cos \phi = 0,95$, необходимо установить конденсаторную батарею с реактивной мощностью, равной $k \times P$, то есть: $Q_c = 0,42 \times 1000 = 420$ кВАр.

Методика выбора компенсации

Расчет требуемой реактивной мощности: таблица выбора

По таблице можно найти коэффициент в зависимости от $\cos \varphi$ электроустановки до и после компенсации реактивной мощности. Умножив этот коэффициент на активную мощность, можно найти реактивную мощность устройства компенсации реактивной мощности.

До компенсации		Реактивная мощность (кВАр), подаваемая на 1 кВт нагрузки для достижения требуемого $\cos \varphi$ или $\text{tg } \varphi$													
$\text{tg } \varphi$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	0.75	0.59	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.32	0.29	0.25	0.20	0.14	0.00
		$\cos \varphi$	0.8	0.86	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
2.29	0.40		1.541	1.698	1.807	1.836	1.865	1.896	1.928	1.963	2.000	2.041	2.088	2.149	2.291
2.22	0.40		1.475	1.631	1.740	1.769	1.799	1.829	1.862	1.896	1.933	1.974	2.022	2.082	2.225
2.16	0.42		1.411	1.567	1.676	1.705	1.735	1.766	1.798	1.832	1.869	1.910	1.958	2.018	2.161
2.10	0.43		1.350	1.506	1.615	1.644	1.674	1.704	1.737	1.771	1.808	1.849	1.897	1.957	2.100
2.04	0.44		1.291	1.448	1.557	1.585	1.615	1.646	1.678	1.712	1.749	1.790	1.838	1.898	2.041
1.98	0.45		1.235	1.391	1.500	1.529	1.559	1.589	1.622	1.656	1.693	1.734	1.781	1.842	1.985
1.93	0.46		1.180	1.337	1.446	1.475	1.504	1.535	1.567	1.602	1.639	1.680	1.727	1.788	1.930
1.88	0.47		1.128	1.285	1.394	1.422	1.452	1.483	1.515	1.549	1.586	1.627	1.675	1.736	1.878
1.83	0.48		1.078	1.234	1.343	1.372	1.402	1.432	1.465	1.499	1.536	1.577	1.625	1.685	1.828
1.78	0.49		1.029	1.186	1.295	1.323	1.353	1.384	1.416	1.450	1.487	1.528	1.576	1.637	1.779
1.73	0.5		0.982	1.139	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.590	1.732
1.69	0.51		0.937	1.093	1.202	1.231	1.261	1.291	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
1.64	0.52		0.893	1.049	1.158	1.187	1.217	1.247	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
1.60	0.53		0.850	1.007	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.458	1.600
1.56	0.54		0.809	0.965	1.074	1.103	1.133	1.163	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
1.52	0.55		0.768	0.925	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268	1.315	1.376	1.518
1.48	0.56		0.729	0.886	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229	1.276	1.337	1.479
1.44	0.57		0.691	0.848	0.957	0.986	1.015	1.046	1.079	1.113	1.150	1.191	1.238	1.299	1.441
1.40	0.58		0.655	0.811	0.920	0.949	0.969	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154	1.201	1.262	1.405
1.37	0.59		0.618	0.775	0.884	0.913	0.942	0.973	1.006	1.040	1.077	1.118	1.165	1.226	1.368
1.33	0.6		0.583	0.740	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
1.30	0.61		0.549	0.706	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
1.27	0.62		0.515	0.672	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63		0.483	0.639	0.748	0.777	0.807	0.837	0.873	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
1.20	0.64		0.451	0.607	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
1.17	0.65		0.419	0.672	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
1.14	0.66		0.388	0.639	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
1.11	0.67		0.358	0.607	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
1.08	0.68		0.328	0.576	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
1.05	0.69		0.299	0.545	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
1.02	0.7		0.270	0.515	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.99	0.71		0.242	0.485	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.96	0.72		0.214	0.456	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.665	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.94	0.73		0.186	0.427	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.91	0.74		0.159	0.398	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.88	0.75		0.132	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.86	0.76		0.105	0.343	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77		0.079	0.316	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.80	0.78		0.052	0.289	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.574	0.511	0.552	0.559	0.660	0.802
0.78	0.79		0.026	0.262	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.75	0.8			0.235	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.72	0.81			0.209	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.70	0.82			0.183	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.67	0.83			0.157	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.65	0.84			0.131	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.62	0.85			0.105	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.59	0.86			0.079	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.56	0.87			0.053	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.53	0.88			0.029	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.51	0.89				0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.342	0.90					0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.48	0.484



Методика выбора компенсации

Шаг 2: Выбор режима компенсации

Расположение конденсаторов низкого напряжения в электроустановке определяет режим компенсации, который может быть централизованным (одна конденсаторная батарея на всю установку), посекционным (по батарее на группу нагрузок) или представлять собой комбинацию двух указанных выше способов. Теоретически, идеальной является компенсация, при которой в любой момент времени на требуемый уровень иерархии электроустановки подается требуемое количество реактивной энергии.

На практике выбор определяется техническими и экономическими соображениями.

Место подключения конденсаторных батарей к электрической сети определяется:

- общей задачей (избежать штрафов за подачу реактивной энергии в сторону силовых трансформаторов и кабелей, предотвратить скачки и провалы напряжения);
- режимом работы (постоянные и переменные нагрузки);
- предполагаемым влиянием конденсаторов на характеристики электросети;
- стоимостью установки.

Централизованная компенсация

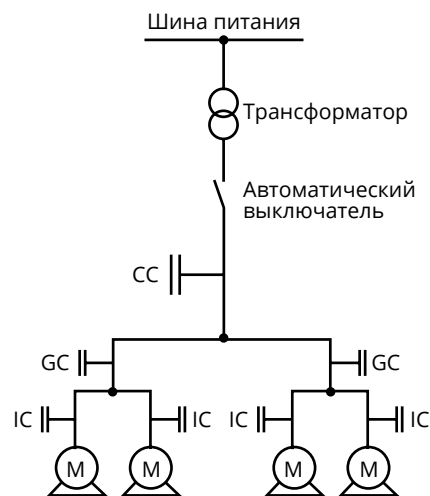
Конденсаторная батарея подключена на вводе электроустановки и компенсирует реактивную энергию для всей электроустановки. Данная схема удобна для стабильного поддержания заданного коэффициента нагрузки.

Посекционная (групповая) компенсация

Конденсаторная батарея подключена к фидерам, питающим одну определенную секцию, которую следует компенсировать. Данная схема удобна для применения в крупных электроустановках, секции которых имеют разные коэффициенты нагрузки.

Индивидуальная компенсация

Конденсаторная батарея подключена непосредственно к вводным зажимам нагрузки (особенно – мощных электродвигателей). Данная схема хорошо подходит для случаев, когда полная мощность нагрузки велика по сравнению с номинальной. Это идеальное техническое решение, поскольку реактивная энергия генерируется в том же месте, где потребляется, и может регулироваться в соответствии с нагрузкой.



СС: Централизованная компенсация

GC: Посекционная (групповая) компенсация

IC: Индивидуальная компенсация

M: Нагрузка в виде электродвигателя

Методика выбора компенсации

Шаг 3: Выбор типа компенсации

В зависимости от требований к характеристикам оборудования и сложности управления, КРМ может быть следующих типов:

- нерегулируемой – путем подключения конденсаторной батареи фиксированной емкости;
- автоматической – путем включения различного количества ступеней регулирования для подачи требуемой реактивной энергии;
- динамической – для компенсации быстро изменяющихся нагрузок.

Нерегулируемая компенсация

В схеме используется один или несколько конденсаторов, обеспечивающих постоянный уровень компенсации. Управление может быть:

- ручным: с помощью автоматического выключателя или выключателя нагрузки;
- полуавтоматическим: с помощью контактора;
- прямое подсоединение к нагрузке и включение/отключение вместе с ней.

Конденсаторы присоединяются:

- к вводным зажимам индуктивных нагрузок (в основном, электродвигателей);
- к шинам, питающим группы небольших электродвигателей или индуктивных нагрузок, для которых индивидуальная компенсация может быть довольно дорогостоящей;
- в случаях, когда коэффициент нагрузки должен быть постоянным.

Автоматическая компенсация

Данный тип компенсации предусматривает автоматическое поддержание заданного $\cos\phi$ путем регулирования количества вырабатываемой реактивной энергии в соответствии с изменениями нагрузки. Оборудование КРМ устанавливается и подключается к тем местам электроустановки, где изменения активной и реактивной мощности относительно велики, например:

- к сборным шинам главного распределительного щита;
- к зажимам кабеля, питающего мощную нагрузку.

Нерегулируемая компенсация применяется там, где требуется компенсировать РМ, не превышающую 15% номинальной мощности трансформаторного источника питания. Если требуется компенсировать более 15%, рекомендуется устанавливать конденсаторную батарею с автоматическим регулированием.

Управление обычно осуществляется электронным устройством (контроллером реактивной мощности), которое отслеживает фактический КМ и выдает команды на подключение или отключение конденсаторов для достижения заданного КМ. Таким образом, реактивная энергия регулируется ступенчато. Кроме того, регулятор реактивной мощности выдает информацию о характеристиках электросети (амплитуда напряжения, уровень искажений, КМ, фактическая активная и реактивная мощность) и состоянии оборудования. В случае неисправности подаются аварийные сигналы. Подключение обычно обеспечивается контакторами. Для быстрой и частой коммутации конденсаторов при компенсации сильно изменяющихся нагрузок следует использовать полупроводниковые ключи.

Динамическая компенсация

Данный тип КРМ используется для предотвращения колебаний напряжения в сетях с изменяющимися нагрузками. Принцип динамической компенсации заключается в том, что вместе с нерегулируемой конденсаторной батареей используется электронный компенсатор реактивной мощности, обеспечивающий опережение или запаздывание реактивных токов относительно напряжения.

В результате получается быстродействующая изменяющаяся компенсация, хорошо подходящая для таких нагрузок, как лифты, дробилки, аппараты точечной сварки и т. д.



Методика выбора компенсации

Чтобы узнать больше о влиянии гармоник на электроустановки, см. Приложение на стр. 31.

Шаг 4: Учет условий эксплуатации и содержания гармоник в сети

Конденсаторы следует выбирать с учетом условий их эксплуатации на протяжении срока службы.

Учет условий эксплуатации

Условия эксплуатации оказывают значительное влияние на срок службы конденсаторов. Следует учитывать следующие параметры:

- температура окружающей среды (°C);
- ожидаемые повышенные токи, связанные с искажением формы напряжения, включая максимальное непрерывное перенапряжение;
- максимальное количество коммутационных операций в год;
- требуемый срок службы.

Учет воздействия гармоник

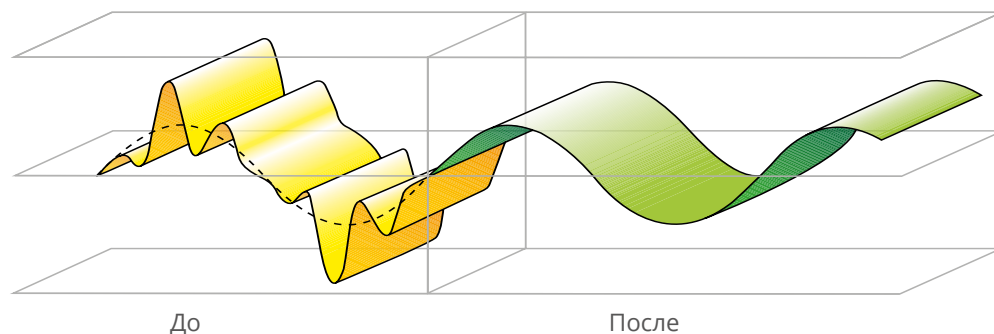
В зависимости от амплитуды гармоник в электросети применяются различные конфигурации устройств КРМ:

- **Стандартные конденсаторы:** при отсутствии значительных нелинейных нагрузок.
- Конденсаторы **повышенной стойкости:** при наличии незначительных нелинейных нагрузок. Номинальный ток конденсаторов должен быть увеличен, чтобы они могли выдерживать циркуляцию токов гармоник.
- Конденсаторы **повышенной стойкости с антирезонансными дросселями** применяются при наличии многочисленных нелинейных нагрузок. Дроссели необходимы для подавления циркуляции токов гармоник и предотвращения резонанса.
- **Фильтры высших гармоник:** в сетях с преобладанием нелинейных нагрузок, где требуется подавление гармоник. Обычно фильтры конструируются для конкретной электроустановки, исходя из результатов измерений на месте и компьютерной модели электросети.

Выбор конденсатора

Предлагаются исполнения с различным уровнем стойкости к неблагоприятным внешним факторам:

- **SystemeSet Cap (тип ECO):** конденсаторы стандартной стойкости для стандартных условий эксплуатации при отсутствии значительных нелинейных нагрузок.
- **SystemeSet Cap (тип C):** конденсаторы повышенной стойкости для сложных условий эксплуатации, в частности, с искажением напряжения или незначительными нелинейными нагрузками. Следует выбирать конденсаторы с увеличенным номинальным током, чтобы они могли выдерживать циркуляцию токов гармоник.
- **Конденсаторы с антирезонансными дросселями:** применяются при наличии многочисленных нелинейных нагрузок.



Конденсаторы низкого напряжения с антирезонансными дросселями



Конденсаторные батареи следует применять совместно с антирезонансными дросселями для КРМ в сетях со значительными нелинейными нагрузками, генерирующими гармоники. Конденсаторы и дроссели образуют последовательный резонансный контур, частота резонанса которого ниже частоты наиболее мощной высшей гармоники, присутствующей в сети.

По этой причине данная конфигурация обычно называется расстроенной конденсаторной батареей, а дроссели – антирезонансными.

Применение антирезонансных дросселей позволяет избежать гармонического резонанса и перегрузки конденсаторов, и помогает ограничить гармонические искажения в электросети.

Частота настройки обычно выражается относительной расстройкой (в%), коэффициентом частотной расстройки (кратным частоте сети) или указывается непосредственно в герцах.

Наиболее распространенные значения относительной расстройки: 7% и 14% (14% используется при высоком уровне напряжения третьей гармоники).

Относительная расстройка (%)	Коэффициент частотной расстройки	Частота настройки для сети 50 Гц (Гц)	Частота настройки для сети 60 Гц (Гц)
7	3,8	190	230
14	2,7	135	160

Выбор частоты настройки контура «дроссель-конденсатор» зависит от нескольких факторов:

- присутствия гармоник нулевой последовательности (3, 9, ...);
- необходимости уменьшения уровня гармонических искажений;
- оптимизации компонентов конденсатора и дросселя;
- частоты настройки сглаживающего фильтра источника постоянного тока системы управления (если имеется).

Чтобы предотвратить появление помех для системы дистанционного управления, резонансная частота настройки дросселя должна быть меньше частоты настройки сглаживающего фильтра источника питания этой системы.

В установке с антирезонансным фильтром напряжение на конденсаторах выше номинального напряжения системы. В этом случае конденсаторы должны быть рассчитаны на повышенные диапазоны напряжения.

В зависимости от выбранной частоты настройки, часть токов гармоник будет поглощаться расстроенной конденсаторной батареей. В этом случае конденсаторы должны быть рассчитаны на увеличенные токи, являющиеся суммой токов основной и высших гармоник.

Эффективная реактивная мощность

На страницах, посвященных расстроенным конденсаторным батареям, в таблицах указана реактивная мощность (кВАр), генерируемая при использовании конденсаторов совместно с дросселями.

Номинальное напряжение конденсатора

Для работы в составе расстроенных батарей используются специальные конденсаторы. По сравнению со стандартными они отличаются увеличенными значениями параметров, таких как номинальное напряжение, допустимое повышенное напряжение и длительно выдерживаемый ток.



Номинальное напряжение и ток

Согласно стандарту МЭК 60681-1, номинальное напряжение (U_N) конденсатора определяется как допустимое непрерывное рабочее напряжение.

Номинальный ток (I_N) конденсатора – это ток, протекающий через конденсатор, к выводам которого приложено номинальное напряжение (U_N) неискаженной синусоидальной формы, и при котором генерируется точный уровень заданной реактивной мощности (кВАр). Конденсаторы должны быть рассчитаны на непрерывную работу при токе, среднеквадратичное значение которого составляет $1,3 \times I_N$.

Для работы при изменяющемся напряжении сети конденсаторы должны выдерживать повышенные напряжения, действующие в течение определенного интервала времени. Например, чтобы соответствовать стандарту, конденсаторы должны выдерживать напряжение $1,1 \times U_N$ в течение 8 часов в сутки.

Конденсаторы серии **SystemeSet Can** предназначены для работы в промышленных сетях. Они прошли интенсивные испытания, подтвердившие их полную безопасность. Благодаря усиленной конструкции их можно использовать в сетях с колебаниями напряжения и сильными электрическими помехами. Конденсаторы подбираются по номинальному напряжению, соответствующему напряжению сети. В зависимости от уровня ожидаемых помех предусмотрены исполнения силовых конденсаторов для наиболее сложных условий эксплуатации (SystemeSet Can).

Для совместного использования с антирезонансными дросселями следует выбирать конденсаторы **SystemeSet Can** с номинальным напряжением выше рабочего напряжения сети (U_S). В установках с антирезонансными дросселями напряжение на конденсаторе выше рабочего напряжения сети (U_S).

В таблице ниже указано рекомендованное номинальное напряжение конденсаторов, используемых в антирезонансных фильтрах, для различного рабочего напряжения сети.

При этих значениях обеспечивается безопасная работа в наиболее сложных условиях.

Могут использоваться и другие значения, но при условии детального анализа в каждом конкурентном случае.

Номинальное напряжение конденсатора U_N (В)	Рабочее напряжение сети U_S (В)	
	50 Гц	60 Гц
	400	400
Относительная расстройка (%)	7	480
	14	525

Конденсаторы низкого напряжения

Содержание

SystemeSet Can

Обзор модельного ряда	18
Каталожные номера	19
Габариты и масса	20

Решения для сетей с содержанием высших гармоник



Условия эксплуатации	21
Номинальное напряжение конденсаторов	21

Конденсатор + антирезонансный дроссель + контактор + автоматический выключатель

Таблица выбора.....	22
---------------------	----



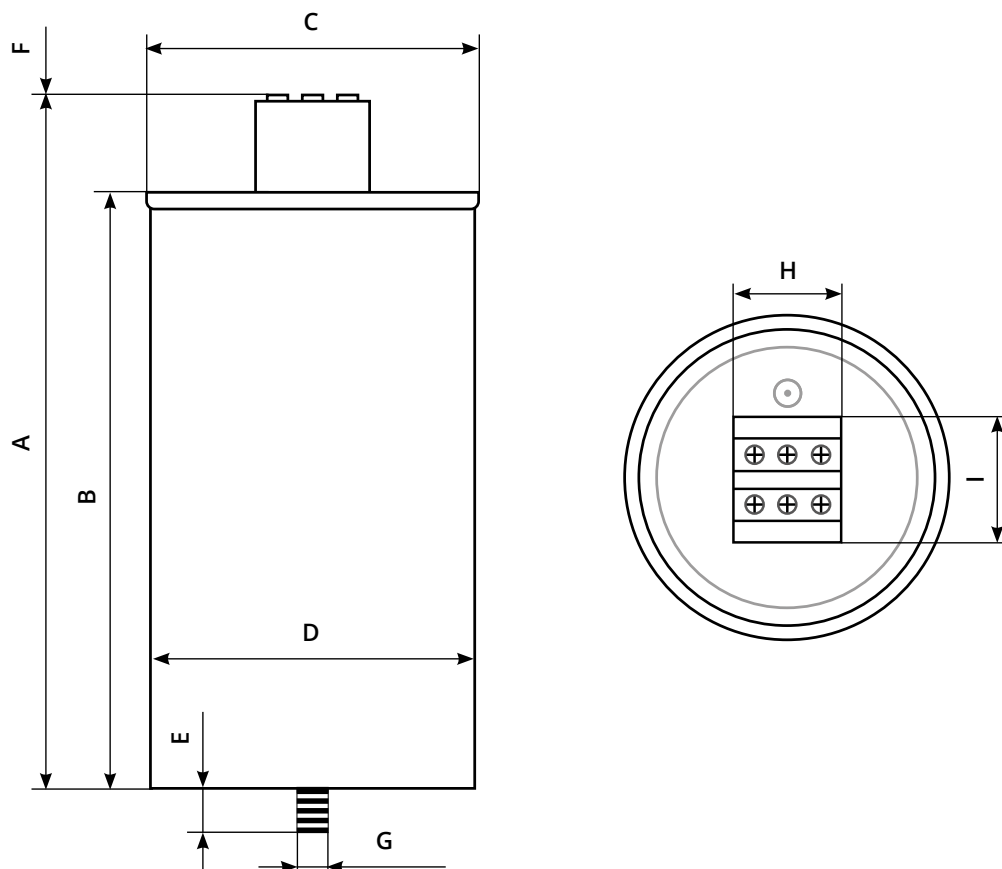
Обзор модельного ряда

	Стандартные конденсаторы (ЕСО)	Конденсаторы повышенной стойкости (С)
		
Общие характеристики		
Соответствие стандарту	МЭК 60831-1/2	
Номинальные напряжения конденсатора	440В, 480В, 525В	
Частота	50/60 Гц	
Номинальная мощность	30 - 50 кВАр	2,5 - 37,5 кВАр
Потери в диэлектрике	<0,25 Вт/кВАр	
Потери общие	<0,5 Вт/кВАр	
Допустимое отклонение ёмкости	+/- 5%	
Испытание повышенным напряжением	Между выводами	2,15 x U _n (AC), 10с
	Между выводами и корпусом	3,6кВ (AC), 2,5с
	Импульсное напряжение	3/8 кВ
Разрядный резистор	Встроенный, стандартное время разряда 60 с	
Условия эксплуатации		
Температура окружающей среды	-40°C/D	-40°C/+60°C
Высота над уровнем моря	2000 м	4000 м
Относительная влажность воздуха	95%	
Допустимое повышенное напряжение	1,1 x U _n 8ч в сутки	
Длительно выдерживаемый ток	1,5 x I _N	2,0 x I _N
Максимальный пусковой ток	До 200 x I _N	До 400 x I _N
Максимальное кол-во коммутаций	до 5000 раз в год	
Средний срок эксплуатации	До 100 000 ч	До 150 000 ч
Содержание гармоник	NLL≤10% (сети с незначительными линейными нагрузками)	NLL≤20% (сети со значительными нелинейными нагрузками)
Конструкция		
Корпус	Цилиндр из экструдированного алюминия	
Диэлектрик	Металлизированная полипропиленовая плёнка	
Пропитка	Вязкая (сухая) биоразлагаемая смола без ПХБ, без SF6, технология CoolCap	
Безопасность		
Безопасность	Самовосстанавливающийся диэлектрик + предохранитель с мембраной избыточного давления + разрядный резистор	
Степень защиты	IP20, внутри помещения	
Монтаж		
Положение для монтажа	Вертикальное и горизонтальное, установка внутри помещения	
Крепление/заземление	Резьбовой вывод M12 снизу	
Клеммы	Двухсторонняя клемма, защищённая от прикосновений	

Каталожные номера

Напряжение сети	380 В	400 В	415 В	440 В	480 В	525 В	I _N , А	C _N , мкФ	Габариты (d x h), мм	Масса, кг	Тип	Код корпуса	Артикул
	Мощность в кВт												
440 В	2,2	2,5	2,7	3,0			3,6	16,4	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0303P440
	2,7	3,0	3,2	3,6			4,3	19,7	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0363P440
	3,7	4,1	4,4	5,0			6,0	27,4	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0503P440
	4,5	5,0	5,4	6,1			7,3	33,4	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0613P440
	5,7	6,3	6,8	7,6			9,1	41,7	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0763P440
	6,8	7,5	8,1	9,1			10,9	49,9	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN0913P440
	7,5	8,3	8,9	10,0			11,9	54,8	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1003P440
	9,0	10,0	10,8	12,1			14,4	66,3	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1213P440
	9,4	10,4	11,2	12,6			15,0	69,1	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1263P440
	11,2	12,4	13,3	15,0			17,9	82,2	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1503P440
	11,3	12,5	13,4	15,1			18,0	82,8	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1513P440
	13,6	15,0	16,2	18,2			21,7	99,7	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN1823P440
	14,9	16,5	17,8	20,0			23,9	109,6	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2003P440
	15,1	16,7	18,0	20,2			24,1	110,7	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2023P440
	18,1	20,0	21,5	24,2			28,9	132,6	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2423P440
	18,6	20,7	22,2	25,0			29,8	137,0	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2503P440
	18,8	20,8	22,4	25,2			30,1	138,1	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2523P440
	22,4	24,8	26,7	30,0			35,8	164,4	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3003P440
	22,4	24,8	26,7	30,0			35,8	164,4	136 x 250	3,5	ECO	D136	SCAN3003P440E
	22,6	25,0	27,0	30,3			36,1	166,1	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3033P440
	26,1	28,9	31,1	35,0			41,8	191,8	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3503P440
	27,1	30,0	32,3	36,3			43,3	198,9	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3633P440
	29,8	33,1	35,6	40,0			47,7	219,2	136 x 250	3,5	ECO	D136	SCAN4003P440E
	30,1	33,3	35,9	40,3			48,1	220,9	136 x 250	3,5	ECO	D136	SCAN4033P440E
	36,1	40,0	43,1	48,4			57,7	265,3	136 x 325	4,8	ECO	D136L	SCAN4843P440E
	480 В	1,6	1,7	1,9	2,1	2,5		3,6	11,5	75 x 245	1,1	C	D75
3,1		3,5	3,7	4,2	5,0		7,2	23,0	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0503P480
5,3		5,8	6,3	7,1	8,4		12,1	38,7	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN0843P480
6,3		6,9	7,5	8,4	10,0		14,4	46,1	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1003P480
6,8		7,5	8,1	9,1	10,8		15,6	49,7	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1083P480
7,5		8,3	8,9	10,0	11,9		17,2	54,8	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1193P480
7,8		8,7	9,3	10,5	12,5		18,0	57,6	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1253P480
9,4		10,4	11,2	12,6	15,0		21,7	69,1	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1503P480
10,5		11,6	12,5	14,0	16,7		24,1	76,9	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN1673P480
10,5		11,7	12,6	14,1	16,8		24,2	77,4	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN1683P480
11,2		12,4	13,4	15,0	17,9		25,8	82,4	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN1793P480
12,5		13,9	15,0	16,8	20,0		28,9	92,1	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2003P480
12,6		14,0	15,0	16,9	20,1		29,0	92,6	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2013P480
13,0		14,4	15,5	17,5	20,8		30,0	95,8	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2083P480
14,9		16,5	17,8	20,0	23,8		34,4	109,6	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2383P480
15,7		17,4	18,7	21,0	25,0		36,1	115,1	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2503P480
17,4		19,3	20,8	23,4	27,8		40,1	128,0	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN2783P480
18,8		20,8	22,4	25,2	30,0		43,3	138,2	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3003P480
18,8		20,8	22,4	25,2	30,0		43,3	138,2	116 x 250	2,6	ECO	D116	SCAN3003P480E
20,9		23,2	25,0	28,1	33,4		48,2	153,8	116 x 325	3,2	C	D116L	SCAN3343P480L
20,9		23,2	25,0	28,1	33,4		48,2	153,8	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3343P480
20,9		23,2	25,0	28,1	33,4		48,2	153,8	95 x 325	2,3	ECO	D95L	SCAN3343P480E
21,0		23,3	25,0	28,1	33,5		48,4	154,3	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3353P480
21,0		23,3	25,0	28,1	33,5		48,4	154,3	116 x 325	3,2	C	D116L	SCAN3353P480L
22,6		25,0	26,9	30,3	36,0		52,0	165,8	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3603P480
25,1		27,8	29,9	33,6	40,0		57,7	184,2	136 x 250	3,5	ECO	D136	SCAN4003P480E
28,2	31,3	33,6	37,8	45,0		65,0	207,2	136 x 325	4,8	ECO	D136L	SCAN4503P480E	
31,3	34,7	37,4	42,0	50,0		72,2	230,3	136 x 325	4,8	ECO	D136L	SCAN5003P480E	
525 В	1,3	1,5	1,6	1,8	2,1	2,5	2,7	9,6	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0253P525
	2,6	2,9	3,1	3,5	4,2	5,0	5,5	19,2	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0503P525
	4,2	4,6	5,0	5,6	6,7	8,0	8,8	30,8	75 x 245	1,1	C	D75	SCAN0803P525
	4,9	5,4	5,8	6,5	7,8	9,3	10,2	35,8	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN0933P525
	5,2	5,8	6,2	7,0	8,4	10,0	11,0	38,5	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1003P525
	6,5	7,3	7,8	8,8	10,4	12,5	13,7	48,1	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1253P525
	7,9	8,7	9,4	10,5	12,5	15,0	16,5	57,7	95 x 250	1,8	C	D95	SCAN1503P525
	8,9	9,9	10,6	11,9	14,2	17,0	18,7	65,4	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN1703P525
	9,7	10,7	11,6	13,0	15,5	18,5	20,3	71,2	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN1853P525
	9,7	10,8	11,6	13,1	15,5	18,6	20,5	71,6	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN1863P525
	10,5	11,6	12,5	14,0	16,7	20,0	22,0	77,0	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2003P525
	11,0	12,2	13,1	14,8	17,6	21,0	23,1	80,8	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2103P525
	11,8	13,1	14,1	15,8	18,8	22,5	24,7	86,6	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2253P525
	13,1	14,5	15,6	17,6	20,9	25,0	27,5	96,2	116 x 250	2,6	C	D116	SCAN2503P525
	14,1	15,7	16,9	19,0	22,6	27,0	29,7	103,9	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN2703P525
	15,7	17,4	18,7	21,1	25,1	30,0	33,0	115,5	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3003P525
	15,7	17,4	18,7	21,1	25,1	30,0	33,0	115,5	136 x 250	3,5	ECO	D136	SCAN3003P525E
	19,4	21,5	23,1	26,0	30,9	37,0	40,7	142,4	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3703P525
	19,6	21,8	23,4	26,3	31,3	37,5	41,2	144,4	136 x 250	3,5	C	D136	SCAN3753P525
	21,0	23,2	25,0	28,1	33,4	40,0	44,0	154,0	136 x 250	3,5	ECO	D136	SCAN4003P525E
	23,6	26,1	28,1	31,6	37,6	45,0	49,5	173,2	136 x 325	4,8	ECO	D136L	SCAN4503P525E
	26,2	29,0	31,2	35,1	41,8	50,0	55,0	192,5	136 x 325	4,8	ECO	D136L	SCAN5003P525E

Габариты и масса



Код корпуса	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм	E, мм	F, мм	G, мм	H, мм	I, мм	Масса, кг
D75	245	213	Ø80	Ø75	16	20	M12	39	45	~1,1
D95	250	215	Ø100	Ø95	16	20	M12	47	52	~1,8
D95L	325	290	Ø100	Ø95	16	20	M12	47	52	~2,3
D116	250	215	Ø121	Ø116	16	20	M12	47	52	~2,6
D116L	325	290	Ø121	Ø116	16	20	M12	47	52	~3,2
D136	250	215	Ø141	Ø136	16	20	M12	47	52	~3,5
D136L	325	290	Ø141	Ø136	16	20	M12	47	52	~4,8

Решения для сетей с содержанием высших гармоник



Условия эксплуатации

SystemeSet Can (ECO) + антирезонансный дроссель + контактор + автоматический выключатель

- Сети с незначительными нелинейными нагрузками
- Незначительные искажения напряжения
- Количество циклов коммутаций до 5000 раз в год

SystemeSet Can (C) + антирезонансный дроссель + контактор + автоматический выключатель

- Сети со значительными нелинейными нагрузками
- Значительные искажения напряжения
- Количество циклов коммутаций до 5000 раз в год

Номинальное напряжение конденсаторов

При работе совместно с антирезонансным дросселем напряжение на конденсаторах превышает рабочее напряжение сети (U_s). Следовательно, конденсаторы должны быть рассчитаны на более высокое напряжение.

В зависимости от выбранной частоты настройки часть гармоник тока поглощается расстроенной конденсаторной батареей. Следовательно, конденсаторы должны быть рассчитаны на более высокие токи, являющиеся суммой основной и высших гармоник.

В таблице ниже указано номинальное напряжение конденсаторов в зависимости от напряжения сети и относительной расстройки.

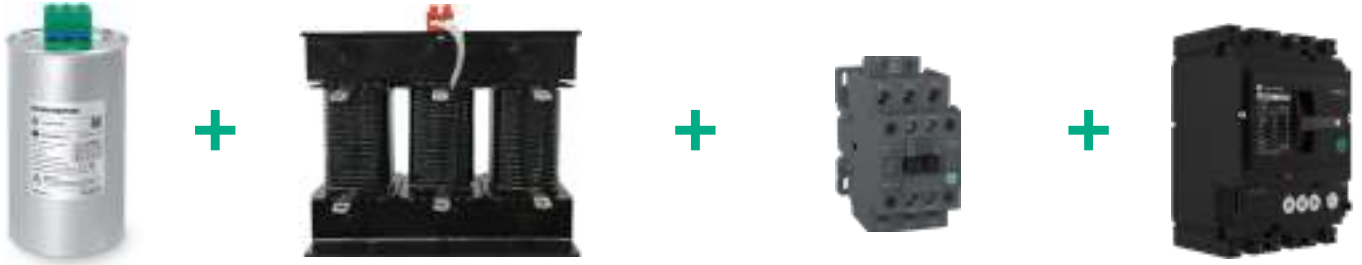
Номинальное напряжение конденсатора SystemeSet Can (U_N)		Рабочее напряжение сети (U_s)	
		50 Гц	60 Гц
		400	400
Относительная расстройка (%)	7	480	480
	14	525	525

Данные значения гарантируют стабильную и безопасную работу в самых тяжелых рабочих условиях. Менее консервативные значения напряжения могут быть выбраны только после детального анализа электроустановки.

В таблицах на последующих страницах указана эффективная реактивная мощность (кВАр), генерируемая при использовании конденсаторов совместно с дросселями.

Конденсатор + антирезонансный дроссель + контактор + автоматический выключатель

Таблица выбора



Сеть 400В, 50Гц, напряжение конденсатора 480В, расстройка фильтра 7%

Эффективная мощность, кВАр	Q _н , 480В	Конденсатор	Дроссель	Контактор	Автоматический выключатель
12,5	16,8	SCAN1683P480	SDR071253P480	MC1D25M7	SPC100N025L3DF
25	33,5	SCAN3353P480	SDR072503P480	MC1D40KUE	SPC100N050L3DF
50	67	SCAN3353P480 x 2	SDR075003P480	MC1D95KUE	SPC100N100L3DF
100	134	SCAN3353P480 x 4	SDR07X003P480	MC1G120KUE	SPC250N200L3DF

Сеть 400В, 50Гц, напряжение конденсатора 525В, расстройка фильтра 14%

Эффективная мощность, кВАр	Q _н , 525В	Конденсатор	Дроссель	Контактор	Автоматический выключатель
12,5	18,6	SCAN1863P525	SDR141253P525	MC1D25M7	SPC100N025L3DF
25	37,5	SCAN3753P525	SDR142503P525	MC1D40KUE	SPC100N050L3DF
50	75	SCAN3753P525 x 2	SDR145003P525	MC1D95KUE	SPC100N100L3DF
100	150	SCAN3753P525 x 4	SDR14X003P525	MC1G120KUE	SPC250N200L3DF

Антирезонансные дроссели

Содержание

SystemeSet DR

Условия эксплуатации	24
Указания по монтажу	24
Технические характеристики	24



Дроссели предотвращают резонансное усиление гармоник в сети и тем самым защищают конденсаторы от перегрузки.



Антирезонансные дроссели

Условия эксплуатации

- Исполнение: для внутренней установки.
- Температура хранения: от -25 до +45 °С.
- Рабочий диапазон относительной влажности воздуха: 20-80%.
- Стойкость к солевому туману: 48 часов (для дросселей на 400 В, 50 Гц)
- Рабочая температура:
 - при высоте над уровнем моря ≤ 1 000 м: мин. = 0 °С, макс. = 125 °С, макс. среднегодовая температура = 40 °С, макс. среднесуточная температура = 85 °С;
 - при высоте над уровнем моря: ≤ 2 000 м: мин. = 0 °С, макс. = 120 °С, макс. среднегодовая температура = 35 °С, макс. среднесуточная температура = 80 °С

Указания по монтажу

- Необходима принудительная вентиляция.
- Для лучшего охлаждения антирезонансный дроссель следует установить так, чтобы его обмотки располагались вертикально.

Поскольку антирезонансные дроссели оборудованы защитой от перегрева, то для отключения ступени устройства КРМ в случае перегрева следует использовать размыкающий сухой контакт.

Технические характеристики

Общие характеристики	
Описание	Трёхфазный, сухой, с магнитопроводом, изоляция с пропиткой
Степень защиты	IP00
Класс нагревостойкости изоляции	H
Номинальное напряжение	400В – 50Гц
Допуст. отклонение индуктивности фазы	-2, +5%
Напряжение изоляции	3 кВ
Ток насыщения	1,8I _N
Напряжение (50/60 Гц) испытания электрической прочности изоляции между обмотками, обмотками и землей	3 кВ в течение 1 мин
Тепловая защита	Вспомогательный контакт 250 В пер. тока, 2 А

Определим рабочий ток (I_S), как ток, потребляемый системой из конденсатора с антирезонансным дросселем, в случае, когда приложенное синусоидальное напряжение равно рабочему напряжению сети (U_S).

$$I_S = Q \text{ (кВАр)} / (\sqrt{3} \times U_S)$$

Для безопасной работы антирезонансного дросселя в реальных условиях он должен выдерживать длительно допустимый ток ($I_{\text{длит.доп.}}$) с учётом гармоник тока и колебаний напряжения.

В таблице ниже указана величина гармоник тока (в процентах), соответствующая различным коэффициентам частотной расстройки.

(%)	Гармоники тока			
Коэффициент частотной расстройки	i_3	i_5	i_7	i_{11}
2,7 / 14%	5	15	5	2
3,8 / 7%	3	40	12	5

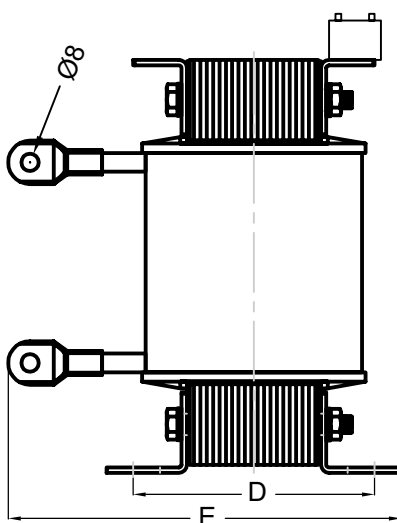
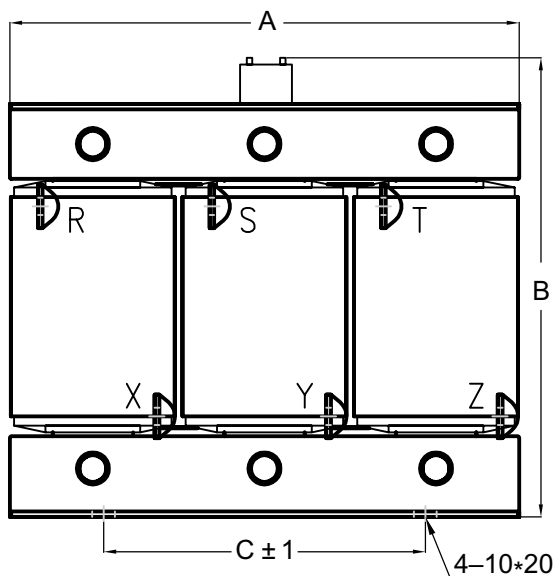
Чтобы обеспечить возможность длительной работы на повышенном напряжении (до $1.1 \times U_s$), допустимый ток следует увеличить в 1,1 раза. Значения длительно допустимого тока ($I_{\text{длит.доп.}}$) указаны в таблице ниже.

Коэффициент частотной расстройки	$I_{\text{длит.доп.}} \times I_s$
2,7 / 14%	1,13
3,8 / 7%	1,2

Ном. напряжение, В	Относит. расстройка, %	Мощность, кВар	Индуктивность, мГН	$I_{\text{длит.доп.}}$, А	Макс. потери при I_1 , Вт	Макс. потери при $I_{\text{длит.доп.}}$, Вт	Макс. потери при $I_{\text{длит.доп.}}$ (с учётом гармоник), Вт	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм	E, мм	Масса нетто, кг	Артикул
400	7% (3.8)	12,5	3,51	22,46	50	75	90	230	201	120	96	166	~15	SDR071253P480
		25	1,53	44,79	73	110	130	240	230	120	96	180	~20	SDR072503P480
		50	0,77	89,57	130	200	250	265	245	120	120	215	~30	SDR075003P480
		100	0,32	178,91	250	355	410	300	300	120	145	280	~52	SDR07X003P480
	14% (2.7)	12,5	6,61	22,74	90	105	115	265	220	120	110	215	~26	SDR141253P525
		25	3,28	45,83	140	173	190	265	220	120	130	235	~39	SDR142503P525
		50	1,64	91,67	220	275	305	310	270	120	165	280	~65	SDR145003P525
		100	0,62	183,11	420	520	570	420	400	120	175	400	~120	SDR14X003P525

Примечание:

1. При выборе мощности конденсаторной батареи, руководствуйтесь максимальными критериями $I_{\text{длит.доп.}}$ (Вт) (определение размера шкафа и расчет вентиляции).
2. Значения, указанные выше в таблице, являются максимально - предельными.



Контроллеры коэффициента мощности

Содержание

SystemeSet PFC

Мониторинг ступеней конденсаторных батарей	28
Измерение и мониторинг системы	28
Простота ввода в эксплуатацию	28
Гибкость при сборке или модернизации щитового оборудования.	28
Делайте больше с SystemeSet PFC	28
Аварийные сигналы	28
Диапазон	28
Общие характеристики	29
Размеры	30
Монтаж	30



SystemeSet PFC обладают всеми функциями, которые потребуются вам для простой и эффективной работы вашего оборудования компенсации реактивной мощности и поддержания стабильного коэффициента мощности. Это простое и интеллектуальное реле, которое измеряет, отслеживает и управляет реактивной энергией. Простота ввода в эксплуатацию, обнаружение и определение размера ступени отличают его от других продуктов на рынке.



Мониторинг ступеней конденсаторных батарей

- Мониторинг всех подключенных ступеней конденсаторов.
- Отображение мощности подключенных ступеней в реальном времени в кВАр.
- Отображение остаточной емкости ступеней в % от номинальной мощности ступени после установки.
- Отображение остаточной мощности ступеней в кВАр с момента установки.
- Количество переключений каждой подключенной ступени.

Измерение и мониторинг системы

- Измерение, отображение и выдача сигналов тревоги для THD(u) и спектров THD(u) с 3 по 19.
- Замер значения DQ – количества кВАр, требуемого для достижения целевого коэффициента мощности.
- Текущая температура шкафа и максимальная зарегистрированная температура.
- Параметры системы – напряжение, сила тока, активная, реактивная и полная мощность.
- Большой ЖК-дисплей для мониторинга действительного состояния ступени и других параметров.

Простота ввода в эксплуатацию

- Автоматическая инициализация и автоматическое обнаружение ступеней в целях автоматического ввода в эксплуатацию.
- Автоматическая корректировка подключения контроллера – корректировка подключения вводов напряжения и силы тока.
- Совместимость с вторичными обмотками трансформатора тока на 1 А или 5 А.

Гибкость при сборке или модернизации щитового оборудования

- Нет ограничений последовательности ступеней, как в традиционных контроллерах.
- Доступна любая последовательность ступеней с автоматическим обнаружением.
- Программирование не требуется.
- Легкая замена неисправного конденсатора на конденсатор другой мощности.
- Простой и быстрый монтаж и подключение.
- Порт RS485 и протокол Modbus во всех моделях устройства.
- Бесшовное подключение к программному обеспечению и шлюзам Systeme Electric.

Делайте больше с SystemeSet PFC

- Программируемые сигналы тревоги с журналом на последние 10 аварийных сигналов.
- Подходит для работы со средним напряжением.
- Подходит для работы по 4 квадрантам.
- Управление с двойным коэффициентом мощности через дискретные входы или обнаружение экспорта мощности.
- Выделенные реле управления вентилятором и сигналом тревоги.
- Расширенное экспертное меню программирования для конфигурирования контроллера нужным вам способом.
- Новый алгоритм управления, разработанный для снижения количества операций переключения и быстрого достижения целевого коэффициента мощности.

Аварийные сигналы

- Неисправность ступени.
- Конфигурируемый сигнал тревоги при понижении мощности ступени.
- Сигнал тревоги предельного значения THDu.
- Сигнал тревоги температуры.
- Автоматическая корректировка путем отключения ступеней в случае появления сигнала тревоги THDu, сигнала тревоги по температуре и сигнала тревоги по предельной перегрузке.
- Сигнал тревоги недостаточной компенсации.
- Сигнал тревоги пониженного/повышенного напряжения.
- Сигнал тревоги низкой/высокой силы тока.
- Сигнал тревоги предела перегрузки.
- Сигнал тревоги нестабильности регулирования.
- Максимальные предельные эксплуатационные значения – время и число переключений.

Диапазон

Количество выходных контактов ступеней	№ по каталогу
06	SPFC06N
12	SPFC12N

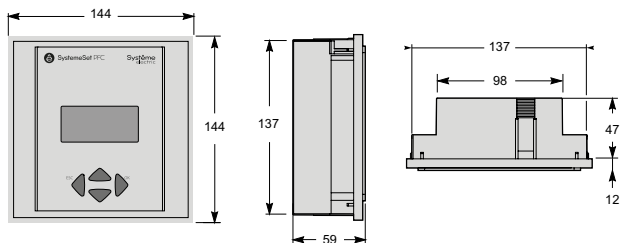
Общие характеристики

Вводы напряжения и силы тока	
Напряжение прямого питания	90–550 В, 1 фаза, 50/60 Гц Нагрузка вторичной обмотки: 6 ВА 300 В ФН / 519 В ФФ CAT III или 550 В CAT II
Тип соединений вводов	Межфазное соединение или соединение «фаза-нейтраль»
Защита от падения напряжения	Автоматическое отключение ступеней при падениях > 15 мс (защита конденсатора)
Вторичная обмотка трансформаторов тока	Совместима с номиналами 1 А или 5 А
Диапазон основной обмотки трансформатора тока	До 9600 А
Сила тока	5мА–5А, 1 фаза Нагрузка вторичной обмотки: < 1 ВА
Клеммы подключения	Винтового типа, подключаемые Сечение: 0,2–2,5 мм ² (0,2–1 мм ² для Modbus и цифровых вводов)
Настройки коэффициента мощности и выбор алгоритма	
Уставка регулировки – программируемая	От Cos Phi 0.7 емкостного до 0.7 индуктивного
Время повторного подключения – программируемое	От 1 до 6500 с
Время отклика – программируемое	От 1 до 6500 с
Возможность работы с объектом с двойным коэффициентом мощности	Да, через дискретных вход или при обнаружении экспорта мощности
Алгоритм программы	АВТОМАТИЧЕСКИЙ (наиболее подходящий) – по умолчанию ОБРАТНАЯ ОЧЕРЕДНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ
Совместимость с вариантами применения с импортом и экспортом мощности	Работа по 4 квадрантам при использовании генератора
Интеллектуальная программа	
Автоматическая инициализация и автоматическое обнаружение ступеней	Да
Обнаружение и отображение мощности, числа переключений и снижения мощности всех подключенных ступеней	Да
Последовательность ступеней конденсаторных батарей	Любая. Без ограничений последовательности
Сигналы тревоги и управления	
Выводы управления (выводы ступеней)	6 реле, 12 реле (НО контакты) 250 В ФН или ФФ (CAT III) Номинал пост. тока: 48 В пост. тока / 1 А Номинал пер. тока: 250 В пер. тока / 5 А Общий корневой концентратор: 10 А макс.
Выделенное реле управления вентилятором	Да. Нормально разомкнутый контакт (НО) 48 В пост. тока / 1 А, 250 В пер. тока / 5 А
Контакт аварийных сигналов	Релейный контакт разомкнут, когда контроллер включен без сигналов тревоги и замыкается при появлении сигнала тревоги. Реле является НЗ (нормально замкнутым), когда контроллер не включен. Номинал: 48 В пост. тока / 1 А, 250 В пер. тока / 5 А
Цифровой ввод целевого коэффициента мощности	Сухой контакт (внутреннее питание 5 В, 10 мА)
Последовательный порт Modbus RS-485 (RTU)	Поляризация/законцовки фаз не входят в объем поставки
Протокол связи	Modbus
Последовательный интерфейс TTL	Сервисный порт. Только для внутреннего использования
Внутренний датчик температуры	Да. Поправка на температуру программируемая
Дисплей и измерения	
Дисплей	Графический ЖК-экран 56 x 25
Журнал сигналов тревоги	Последние 10 сигналов тревоги
Замер гармонических искажений напряжения	THDu; искажение отдельных нечетных гармоник с 3 по 19 порядка
Отображаемые измерения и точность	Напряжение, сила тока и частота: ±1 % Измерение энергии, коэффициента мощности, THD(u): ±2 % Отдельные гармоники напряжения (от Н3 до Н19): ±3 % Измерение температуры: 3% - > 5%

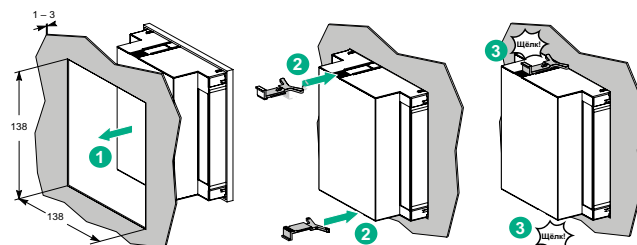
Общие характеристики (продолжение)

Стандарты испытания и соответствие	
Стандарты	МЭК 61010-1 МЭК 61000 6-2 МЭК 61000 6-4 МЭК 61326-1 UL 61010
Соответствие и внесение в списки	Соответствие и внесение в списки CE, NRTL, с NRTL, EAC
Механические характеристики	
Корпус	Передняя панель: пластик для корпусов измерительных приборов (чёрный) Задняя панель: металл
Класс защиты	Передняя панель: IP41 Задняя панель: IP20
Масса	0,6 кг
Размер	144 x 144 x 58 мм (В x Ш x Г)
Вырез в панели	138 x 138 (+0,5) мм, толщина 1-3 мм
Монтаж панели	Монтаж заподлицо
Условия хранения	
Рабочая температура	От -20 до +70 °С
Хранение	От -40 до +85 °С
Влажность	0 - 95 %, без конденсации во время эксплуатации и хранения
Максимальный класс загрязнения	2
Максимальная высота	≤ 2000 м

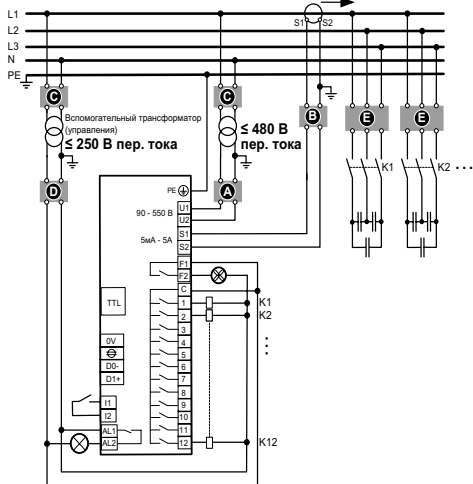
Размеры (мм)



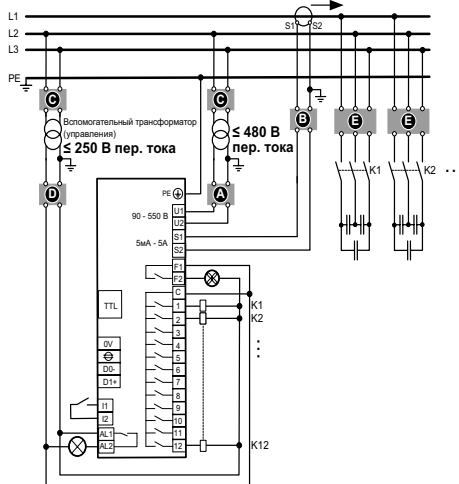
Монтаж (мм)



Фаза-нейтраль с трансформаторами напряжения (ЗРН4W)



Фаза-фаза с трансформаторами напряжения (ЗРН3W)



- A** Защита оборудования выше по цепи
Вход напряжения:
выключатели или предохранители ном. 2 А
- B** Блок закорачивания трансформатора тока
- C** Основные предохранители и выключатель трансформатора напряжения
- D** Выходные реле:
выключатели или предохранители ном. 10 А (макс.) (применимо только для использования с трансформаторами напряжения)
- E** Основные предохранители или выключатели конденсатора

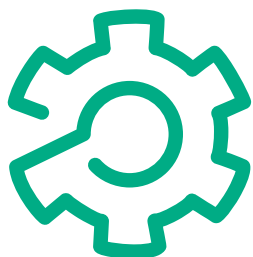
Приложение

Содержание

Коэффициент мощности наиболее распространенных принимающих устройств	
Практический расчет реактивной мощности	32
Коэффициенты мощности для наиболее распространенных типов потребителей	32
Когда следует применять нерегулируемую компенсацию реактивной мощности?	
Нерегулируемая компенсация реактивной мощности трансформатора	33
Нерегулируемая компенсация реактивной мощности асинхронного электродвигателя	34
Требования к компенсации для асинхронных электродвигателей	34
Автоматическая компенсация: советы по монтажу	
Компенсация для одиночной шины	35
Компенсация с несколькими шинами	35
Компенсация для шины, питаемой несколькими трансформаторами	35
Система управления	
Физическое и электрическое управление	36
Контроллер	37
Пояснения к регулировке С/К	38
Общая информация о гармониках	
Введение	39
Среднеквадратичное значение	39
Измерение гармоник: искажение	40
Причины и следствия воздействия гармоник	
Генераторы гармоник	41
Основные источники гармоник	41
Влияние гармоник на потребители	42



Коэффициент мощности наиболее распространенных принимающих устройств



Практический расчет реактивной мощности

Тип цепи	Полная мощность S (кВА)	Активная мощность P (кВт)	Реактивная мощность Q (кВАр)
Одна фаза (фаза + нейтраль)	$S = B \times I$	$P = B \times I \times \cos \varphi$	$Q = B \times I \times \sin \varphi$
Одна фаза (фаза + фаза)	$S = U \times I$	$P = U \times I \times \cos \varphi$	$Q = U \times I \times \sin \varphi$
Пример: Нагрузка 5 кВт $\cos \varphi = 0,5$	10 кВА	5 кВт	8.7 кВАр
Три фазы (3 фазы или 3 фазы + нейтраль)	$S = \sqrt{3} \times U \times I$	$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$	$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi$
Пример электродвигателя с $P_n = 51$ кВт $\cos \varphi = 0,86$ КПД = 0,91	65 кВА	56 кВт	33 кВАр

Расчеты для примера с тремя фазами производились следующим образом:

P_n = мощность, подаваемая на вращающуюся ось = 51 кВт

P = потребляемая активная мощность = $P_n / \rho = 56$ кВт

S = полная мощность = $P / \cos \varphi = 56 / 0,86 = 65$ кВА

Следовательно:

$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{65^2 - 56^2} = 33$ кВАр

Средние значения коэффициента мощности для различных нагрузок приведены ниже.

Коэффициенты мощности для наиболее распространенных типов потребителей

Устройство	Нагрузка	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$
Простой асинхронный электродвигатель	0%	0,17	5,8
	25%	0,55	1,52
	50%	0,73	0,94
	75%	0,8	0,75
	100%	0,85	0,62
Лампы накаливания		1	0
Флуоресцентные лампы		0,5	1,73
Газоразрядные лампы		0,4 - 0,6	2,29 - 1,33
Печи сопротивления		1	0
Индукционные печи		0,85	0,62
Диэлектрические печи		0,85	0,62
Аппарат для контактной электросварки		0,8 - 0,9	0,75 - 0,48
Стационарные однофазные центры дуговой сварки		0,5	1,73
Поворотные центры дуговой сварки		0,7 - 0,9	1,02
Трансформаторы/выпрямители для дуговой сварки		0,7 - 0,9	1,02 - 0,75
Дуговые печи		0,8	0,75

$\cos \varphi$ наиболее распространенных устройств.

Когда следует применять нерегулируемую компенсацию реактивной мощности?

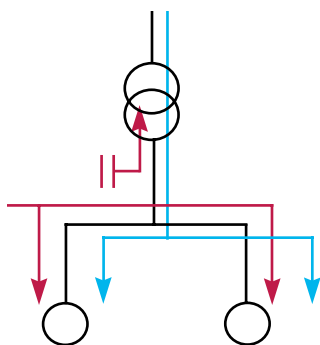


Рис. 1. Перетоки мощности в электроустановке с трансформатором без компенсации

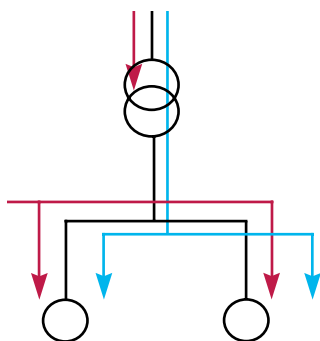


Рис. 2. Перетоки мощности в электроустановке, в которой трансформатор компенсирован нерегулируемой конденсаторной батареей

Нерегулируемая компенсация реактивной мощности трансформатора

Трансформатор потребляет реактивную мощность, которую можно приблизительно определить, добавив:

- фиксированную часть, которая зависит от тока намагничивания без нагрузки I_0 :
 $Q_0 = I_0 \times U_n \times \sqrt{3}$
- часть, пропорциональную квадрату полной мощности, которую он передает:
 $Q = U_{sc} S^2 / S_n$
 U_{sc} : напряжение короткого замыкания трансформатора в единицах мощности;
 S : полная мощность, передаваемая трансформатором;
 S_n : полная номинальная мощность трансформатора;
 U_n : номинальное напряжение между фазами.

Общая потребляемая трансформатором реактивная мощность составляет:
 $Q_t = Q_0 + Q$.

Если такая компенсация проводится индивидуально, то она может выполняться на клеммах самого трансформатора.

Если компенсация применяется глобально, с компенсацией нагрузки на шине основного распределительного устройства, то нерегулируемая компенсация может применяться, при условии что общая мощность не превышает 15 % от номинальной мощности трансформатора (в ином случае необходимо применять конденсаторные батареи с автоматическим регулированием).

Значения индивидуальной компенсации для конкретного трансформатора, в зависимости от номинальной мощности трансформатора, приведены в таблице ниже.

Трансформатор		Масляный		Сухой	
S (кВА)	U_{sc} (%)	Без нагрузки	Нагрузка	Без нагрузки	Нагрузка
100	4	2,5	5,9	2,5	8,2
160	4	3,7	9,6	3,7	12,9
250	4	5,3	14,7	5,0	19,5
315	4	6,3	18,3	5,7	24
400	4	7,6	22,9	6,0	29,4
500	4	9,5	28,7	7,5	36,8
630	4	11,3	35,7	8,2	45,2
800	4	20,0	66,8	10,4	57,5
1000	6	24,0	82,6	12	71
1250	5,5	27,5	100,8	15	88,8
1600	6	32	126	19,2	113,9
2000	7	38	155,3	22	140,6
2500	7	45	191,5	30	178,2



Когда следует применять нерегулируемую компенсацию реактивной мощности?

Нерегулируемая компенсация реактивной мощности асинхронного электродвигателя

Коэффициент мощности электродвигателей обычно очень низок при работе без нагрузки и низок при нормальной эксплуатации. Поэтому для такого типа потребителей рекомендуется установка конденсаторных батарей. В таблице ниже, в качестве примера, представлены значения мощности конденсаторных установок в кВАр, соответствующие различной мощности электродвигателей.

Номинальная мощность кВт	Количество оборотов в минуту Реактивная мощность в кВАр				
	НР	3000	1500	1000	750
11	15	2,5	2,5	2,5	5
18	25	5	5	7,5	7,5
30	40	7,5	10	11	12,5
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	485	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

Когда электродвигатель приводит в движение потребителей с высокой инерцией, он может продолжать вращаться после прерывания напряжения питания, используя свою кинетическую энергию, и самовозбуждаться от конденсаторной батареи, установленной на его клеммах. Конденсаторы выдают реактивную энергию, требуемую для его работы в режиме асинхронного генератора. Такое самовозбуждение приводит к сохранению напряжения, а иногда к серьезным перенапряжениям в цепи.

Требования к компенсации для асинхронных электродвигателей

В случае установки конденсаторов на клеммы электродвигателя

Во избежание опасного перенапряжения в цепи вследствие явления самовозбуждения, убедитесь, что мощность конденсаторной батареи соответствует следующему неравенству

$$Q_c \leq 0,9 \sqrt{3} U_n I_0$$

- I_0 : сила тока электродвигателя без нагрузки I_0 может быть оценена по следующему выражению: $I_0 = 2 I_n (1 - \cos \varphi_n)$
- I_n : значение номинальной силы тока электродвигателя;
- $\cos \varphi_n$: $\cos \varphi$ электродвигателя при номинальной мощности;
- U_n : номинальное напряжение между фазами.

В случае параллельной установки конденсаторов с отдельными механизмами управления

Во избежание опасного перевозбуждения в цепи по причине самовозбуждения или в случаях, когда электродвигатель запускается при помощи специального распределительного устройства (резисторы, реакторы, автотрансформаторы), конденсаторные батареи включаются только после пуска.

Так же конденсаторные батареи должны отключаться до отключения питания электродвигателя. Таким образом, реактивная мощность электродвигателя может быть полностью компенсирована на полной нагрузке.

Предупреждение: если несколько конденсаторных батарей данного типа соединяются в одной сети, должны устанавливаться реакторы ограничения пускового тока.

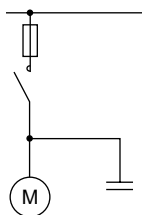


Рис. 3. Установка конденсаторов на клеммы электродвигателя

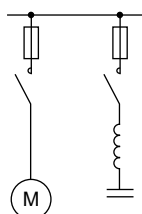


Рис. 4. Параллельная установка конденсаторов с отдельными механизмами управления

Автоматическая компенсация: советы по монтажу

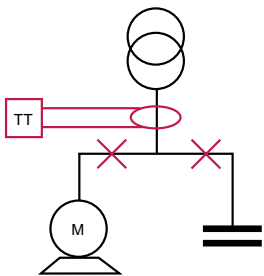


Рис. 5. Схема подключения к одиночной шине низкого напряжения и расположение трансформатора тока

Компенсация для одиночной шины

Общая информация

Установка с одиночной шиной низкого напряжения применяется наиболее часто. Установки такого типа требуют возможности изменения реактивной мощности с учетом ранее определенных методов.

При компенсации используются все приемные устройства установки, а сила тока трансформатора тока определяется в соответствии с полной силой тока, проходящего через главный защитный выключатель.

Меры безопасности при монтаже

Как указано выше, необходимо обеспечить дополнительную установку трансформатора тока, с тем чтобы он мог считывать общее потребление установки.

Трансформатор тока (СТ) должен быть установлен в соответствии с рис. 5. Его установка в любом из мест, отмеченных крестами, приведет к неправильной работе всей системы.

Компенсация с несколькими шинами

Независимые шины низкого напряжения

Другой опцией при установке является применение нескольких независимых шин, от которых не требуется подключение к двум идентичным трансформаторам. По этой причине требования к реактивной мощности будут различными для каждой из шин и должны оцениваться по отдельности с использованием описанных выше методов.

При компенсации используются все приемные устройства установки, а сила тока трансформаторов тока определяется в соответствии с полной силой тока, проходящего через главный защитный выключатель.

Меры безопасности при монтаже

Так же, как и в предыдущем случае, расположение каждого трансформатора тока (СТ) необходимо будет выбирать аналогичным образом, чтобы трансформаторы могли считывать значения компенсации в каждой из частей установки по отдельности.

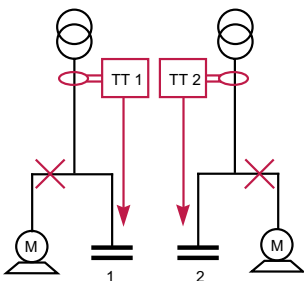


Рис. 6. Схема подключения к независимым шинам низкого напряжения и расположение трансформаторов тока

Компенсация для шины, питаемой несколькими трансформаторами

В отличие от описанных выше установок, в данной установке трансформаторы подключаются параллельно со стороны низкого напряжения.

Раздельные распределительные трансформаторы

Компенсация в такой установке обеспечивается установкой двух автоматических батарей и соответствующих им трансформаторов тока.

Равноценные распределительные трансформаторы

В таком случае возможно обеспечить компенсацию одной конденсаторной батареей, контроллер которой питается от суммирующего трансформатора, который в свою очередь запитывается от двух трансформаторов тока каждого из распределительных трансформаторов.

Максимальное количество суммирующих вводов 5 (рис. 7).

Меры безопасности при монтаже

- Раздельные распределительные трансформаторы: Каждая батарея питается от отдельного трансформатора тока, подключаемого к выводу каждого трансформатора. Настройка и монтаж должны производиться так же, как в случае с независимыми шинами.
- Равноценные распределительные трансформаторы: При компенсации используется одна конденсаторная батарея и единственной мерой предосторожности при вводе в эксплуатацию является следующее: соотношение С/К, которое должно быть запрограммировано в контроллер, должно учитывать сумму всех трансформаторов тока, питающих суммирующий контур.

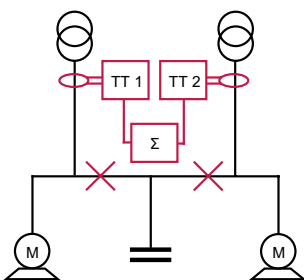


Рис. 7. Схема для различных трансформаторов, подключаемых параллельно, и расположения трансформатора (ТТ)

Система управления

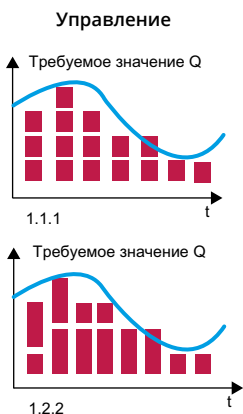


Рис. 8. Последовательности 1.1.1.1 и 1.2.2.2.

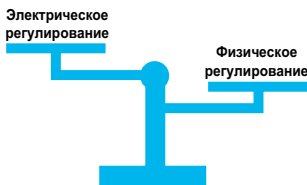


Рис. 9. В правильно подобранной конденсаторной батарее должен существовать баланс между электрическим и физическим регулированием.

Физическое и электрическое управление

Определение автоматической конденсаторной батареи

Тремя показателями, определяющими автоматическую конденсаторную батарею, являются:

- Мощность батареи в кВАр, которая определяется выполненными расчетами и зависит от объективного $\cos\varphi$, который должен поддерживаться в сети.
- Номинальное напряжение - должно всегда равняться или превышать напряжение сети.
- Регулирование батареи с указанием физических ступеней батареи.

Физическое управление

Ступени физического регулирования автоматической конденсаторной батареи указывают на состав и количество входящих в нее узлов «конденсатор-контактор». Обычно это выражается как отношение между мощностью первой ступени и мощностью остальных ступеней.

Пример:

Батарея на 70 кВАр, сформированная из следующих ступеней: 10 + 20 + 20 + 20, с регулированием по 1.2.2.2, при этом мощность первой ступени равна половине мощности каждой из последующих ступеней.

Другая батарея на 70 кВАр, сформированная из следующих ступеней: 7 ступеней по 10 кВАр, с регулированием по 1.1.1.1.

На рис. 8 мы видим работу двух регулируемых батарей 1.1.1.1 и 1.2.2.2.: как показано в примере.

Регулировка для обеспечения соответствия требованиям по реактивной мощности двух батарей выполняется точно так же, как при установке двух отдельных систем регулирования.

Электрическое регулирование

Электрическое управление показывает, как регулируется мощность в конденсаторной батарее.

В предыдущем примере, электрическое управление обеих батарей одинаковое (7 x 10). Это значит, что регулирование для обеспечения соответствия требованиям по реактивной мощности будет точно таким же, даже если физические ступени каждой из батарей отличаются.

Правильно подобранная батарея

С точки зрения стоимости оборудования, чем больше физических ступеней содержит ступень, тем более дорогой она будет, тем больше узлов «конденсатор-контактор» потребуется и тем больше будет общий размер установки.

С точки зрения регулирования коэффициента мощности, чем ниже уровень электрического управления, тем лучше батарея будет адаптироваться к изменениям в потребной реактивной мощности установки.

Тем не менее, в правильно подобранной конденсаторной батарее должен существовать баланс между электрическим и физическим регулированием.

Контроллеры SystemeSet PFC содержат до 7 отдельных настроек регулирования, которые позволяют оптимизировать стоимость оборудования, одновременно обеспечивая оптимальную точность регулирования.

Пример:

Батарея на 70 кВАр, сформированная из трех ступеней: 10 + 20 + 40 (регулирование 1.2.4), предполагает то же электрическое регулирование, что и в предыдущем примере, но имеет меньшую стоимость, чем батарея 7x10, поскольку содержит только три узла «конденсатор-контактор».

Система управления

Контроллер – элемент, принимающий решение по вводу или выводу различной мощности

Контроллер

Программирование контроллера

Данные, заносимые в контроллер при вводе в эксплуатацию, включают:

- желаемый $\cos \varphi$ установки,
- отношение С/К.

Эти данные уникальны для каждой установки и не могут быть запрограммированы на заводе.

Что такое отношение С/К?

Контроллер - это элемент, принимающий решение по вводу или выводу различной мощности, в зависимости от трех параметров:

- желаемый $\cos \varphi$ электроустановки,
- существующий $\cos \varphi$,
- сила тока первой ступени (минимальная отметка регулирования батареи).

Ввод тока на контроллер всегда производится через трансформатор типа X/5.

Для того, чтобы контроллер мог принять решение о подключении или отключении определенной ступени, он должен знать, какую реактивную мощность необходимо подать на установку, и данный ввод он получает от вспомогательного трансформатора тока (СТ), с которого контроллер считывает значение.

Метод программирования данного значения, известного как отношение С/К, описан ниже:

$$C/K = \frac{Q_1/\sqrt{3} \times U}{R_{TI}}$$

где:

Q1= реактивная мощность первой ступени (ВАР);

U = напряжение FF;

RTI = коэффициент трансформатора тока (X/5).

Пример:

Батарея на 70 кВАр, сформированная из следующих ступеней: 10 + 20 + 40.

Установка подключается при помощи главного защитного выключателя на 630 А.

Должен устанавливаться трансформатор тока 700/5, а расчет С/К будет следующим:

$$C/K = 10 \times 1000/(\sqrt{3} \times 400) / 700 / 5 = 0,10.$$

Важность правильной регулировки С/К

Для понимания важности правильной регулировки значения С/К, необходимо помнить о том, что у каждой батареи есть минимальное заданное количество ступеней (определяемое мощностью первой ступени).

По этой причине батарея не сможет установить требуемый коэффициент мощности, если потребность сети не соответствует в точности указанному значению или не кратна данному значению.

Пример:

Батарея на 70 кВАр, сформированная из следующих ступеней: 10 + 20 + 40.

Целевой $\cos \varphi$, запрограммированный в контроллер, равен 1.

Параметры сети в случайный данный момент времени:

$$P = 154 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi = 0.97$$

таким образом, реактивная мощность Q, необходимая для достижения целевого $\cos \varphi$, составит:

$$Q = P \times (\operatorname{tg} \varphi_{\text{initial}} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{target}}) = 154 \times (0.25 - 0) = 38,5 \text{ кВАр}$$

Поскольку батарея разделена на ступени 7x10 кВАр, батарея будет постоянно переключаться между мощностью 30 и 40 кВАр.

Во избежание такой нестабильной работы, необходимо отрегулировать значение С/К.



Система управления

Пояснения к регулировке С/К

На **рис. 10** показана важность настройки С/К:

- Ось X представляет собой активную силу тока установки, а ось Y представляет собой реактивную силу тока (индуктивная в положительной полуплоскости и емкостная в отрицательной полуплоскости).
- Данный график может проиллюстрировать любую ситуацию для $\cos \varphi$ установки. То же относится и к координатам точки (X, Y) для трех компонентов активной и реактивной силы тока.
- На схеме показана линия, представляющая $\tan \varphi$, на которой φ означает угол для желаемого $\cos \varphi$.
- Как описано выше, батарея не может быть настроена точно на требуемую реактивную мощность, преобладающую в установке в случайный момент времени, поэтому мы создаем стабильный диапазон работы контроллера, в рамках которого мы точно знаем, что $\cos \varphi$ не будет точно таким, какой требуется, и для которого не будут подключаться или отключаться дополнительные ступени.
- Этот диапазон представляет собой диапазон С/К; кроме того, контроллер будет подключать ступени выше диапазона С/К и отключать их ниже него. Установка слишком низкого значения С/К будет означать бессмысленную выработку контактов, а слишком высокое значение С/К может привести к образованию слишком широкого диапазона стабильной работы без достижения требуемого $\cos \varphi$.
- Регуляторы имеют возможность автоматически регулировать С/К в любых условиях нагрузки.

Вручную можно задать значения С/К от 0,01 до 1,99 при просмотре установленного значения на экране.

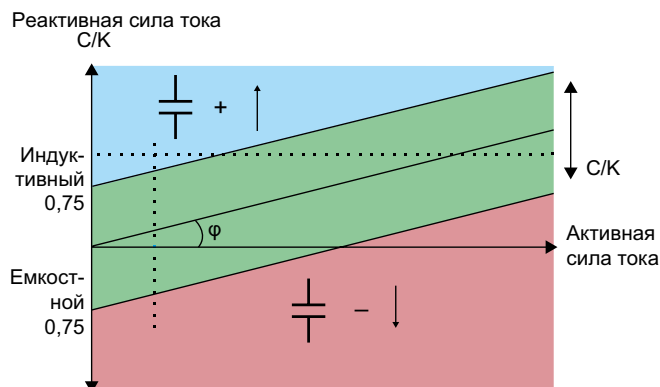


Рис. 10. Пояснение регулирования значения С/К в контроллере реактивной мощности

Общая информация о гармониках

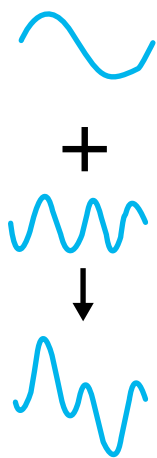


Рис. 11. Разложение несинусоидальной волны

Введение

Гармоники обычно определяются двумя основными характеристиками:

- Их амплитуда: значение напряжения или силы тока гармоники.
- Их порядок: значение их частоты по отношению к основной частоте (50 Гц).

В таких условиях, частота гармоник пятого порядка в пять раз превышает основную частоту, т. е. $5 \times 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Гц}$.

Среднеквадратичное значение

Среднеквадратичное значение для несинусоидальной волны получается путем расчета среднеквадратичной суммы различных значений волны для гармоник всех порядков, существующих в волне:

Среднеквадратичное значение I:

$$I (A) = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

Среднеквадратичное значение всех составляющих гармоник вычитается из результата данного расчета:

$$I_h (A) = \sqrt{I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

Данный расчет иллюстрирует один из основных эффектов гармоник, т. е. повышенное среднеквадратичное значение силы тока, проходящего через установку по причине составляющих гармоник, с которыми ассоциируется несинусоидальная волна.

Как правило, распределительное устройство и кабели шин установки подбираются в зависимости от номинальной силы тока при основной частоте; все эти компоненты установок не предназначены для сопротивления повышенным гармоническим токам.

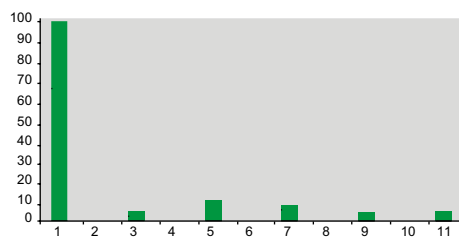


Рис. 12. Типовой график частотного спектра. Частотный спектр, также известный под названием «спектральный анализ», показывает типы генераторов гармоник, работающих в сети

Общая информация о гармониках

Измерение гармоник: искажение

Наличие изменяющегося количества гармоник в сети называется искажением. Оно измеряется коэффициентом нелинейного искажения:

- **Th: индивидуальный коэффициент искажения**

Он отображает в % амплитуду каждой из гармоник по отношению к основной частоте:

$$Th (\%) = A_n / A_1$$

Где:

A_n = значение напряжения или силы тока для гармоники порядка n .

A_1 = значение напряжения или силы тока при основной частоте (50 Гц).

- **THD: суммарный коэффициент нелинейного искажения**

Он отображает в % амплитуду общего нелинейного искажения по отношению к основной частоте или по отношению к общему значению для волны.

$$THD_{CIGREE} = \frac{\sqrt{\sum_2^h A_n^2}}{A_1} \quad THD_{IEC 555} = \frac{\sqrt{\sum_2^h A_n^2}}{\sum_1^h A_n^2}$$

Эксплуатационные значения, используемые для определения действительного состояния установки с точки зрения степени нелинейных искажений, включают:

- **Суммарный коэффициент нелинейного искажения [THD(U)]** – отображает коэффициент искажения напряжения и коэффициент суммы напряжений по гармоникам по отношению к напряжению при основной частоте, все отношения выражены в %.
- **Суммарный коэффициент нелинейного искажения [THD(I)]** – отображает коэффициент искажения силы тока и коэффициент суммы силы тока по гармоникам по отношению к силе тока при основной частоте, все отношения выражены в %.
- **Частотный спектр (TFT)** – представляет собой график, на котором указана амплитуда для каждой из гармоник в соответствии с их порядком.
Изучение данного графика позволяет определить, какие гармоники присутствуют и соответствующую им амплитуду.

Промежуточные гармоники

Промежуточные гармоники представляют собой синусоидальные составляющие с частотами, не кратными основной частоте (а потому располагающимися между основными гармониками). Они являются результатом периодических или случайных изменений мощности, потребляемой различными типами потребителей, такими как дуговые печи, сварочные аппараты и частотные преобразователи (частотно-регулируемые приводы, циклоконвертеры).

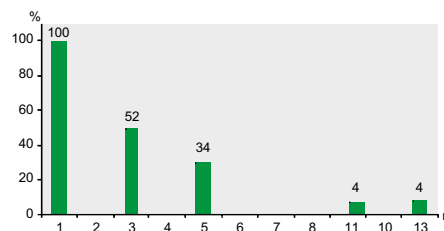


Рис. 13. Частотный спектр гармоник для однофазных промышленных устройств, индукционных печей, сварочных аппаратов, выпрямителей и пр.

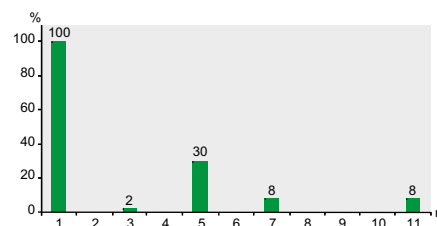


Рис. 14. Частотный спектр гармоник для трехфазных частотно-регулируемых приводов, асинхронных электродвигателей или электродвигателей постоянного тока

Причины и следствия воздействия гармоник



Генераторы гармоник

Гармоники обычно генерируются нелинейными потребителями, которые, несмотря на питание от синусоидального напряжения, потребляют несинусоидальный ток.

Говоря коротко, нелинейные потребители ведут себя как источники силы тока, добавляющие нелинейные искажения (гармоники) в сеть.

Наиболее распространенные нелинейные потребители, генерирующие гармоники, включают устройства силовой электроники, например приводы с регулируемой скоростью, выпрямители, инверторы и др.

Такие потребители, как дроссели насыщения, сварочное оборудование, дуговые электропечи, также генерируют гармоники.

Прочие потребители имеют линейный характер работы и не генерируют гармоник.

Основные источники гармоник

Существует различие между видами потребителей в зависимости от их принадлежности к промышленным или бытовым.

- **Промышленные потребители:**
 - устройства силовой электроники: частотно-регулируемые приводы, выпрямители, ИБП и пр.
 - потребители, в которых используется электрическая дуга: дуговые печи, сварочные аппараты, освещение (флуоресцентные лампы и пр.); гармоники (временные) также генерируются при пуске электродвигателей электронным пускателем и при использовании силовых трансформаторов.
- **Бытовые потребители:** телевизоры, микроволновые печи, индукционные плиты, компьютеры, принтеры, флуоресцентные лампы и пр.

Следующая таблица является руководством по различным типам потребителей с информацией по спектру выдаваемых нелинейных искажений тока.

Информация о спектре нелинейных искажений, создаваемых различными потребителями

Тип потребителя	Создаваемые гармоники	Комментарии
Трансформатор	Четный и нечетный порядок	Составляющая постоянного тока
Асинхронные электродвигатели	Нечетный порядок	Промежуточные гармоники и субгармоники
Газоразрядные лампы	3. ^о + нечетный	Может достигать 30 % от 11
Дуговая сварка	3. ^о	
Дуговые печи пер. тока	Нестабильный меняющийся спектр	Нелинейный – асимметрический спектр
Индуктивный фильтр-выпрямитель	$\chi = K \times P \pm 1$ $I_h = I1/\chi$	ИБП – частотно-регулируемые приводы V
Емкостной фильтр-выпрямитель	$\chi = K \times P \pm 1$ $I_h = I1/\chi$	Питание электронных устройств
Циклоконвертер	Переменные	Частотно-регулируемые приводы V
ШИМ-контроллер	Переменные	ИБП – конвертеры пост./пер. тока

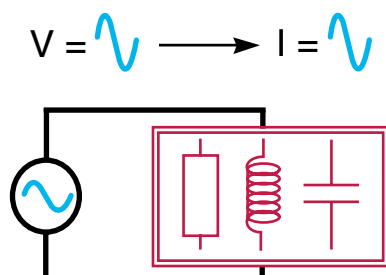


Рис. 15. Линейные потребители, такие как индукторы, конденсаторы и резисторы не создают гармоники

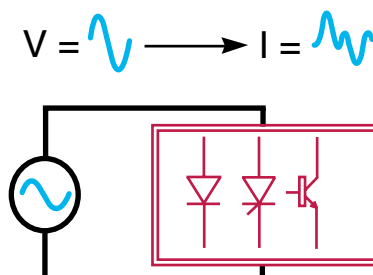


Рис. 16. Нелинейные потребители создают гармоники

Причины и следствия воздействия гармоник



Рис. 17. Кабели



Рис. 18. Индукционная печь



Рис. 19. Конденсатор SystemeSet Can

Влияние гармоник на потребители

В основном оборудовании возникают следующие два типа эффектов: мгновенные или кратковременные эффекты, а также длительные эффекты.

Мгновенные или кратковременные эффекты:

- Ложное срабатывание защитных устройств,
- Наведенные помехи от систем тока низкого напряжения (дистанционное управление, телекоммуникации),
- Нетипичные вибрации и шум,
- Повреждение по причине тепловой перегрузки конденсатора,
- Неправильная работа нелинейных потребителей.

Эффекты длительного воздействия ассоциируются с перегрузками по току, которые вызывают перегрев и преждевременный износ оборудования.

Затрагиваемые устройства и эффекты:

- Силовые конденсаторы:
 - дополнительные потери и перегрев,
 - меньше возможностей использования с полной нагрузкой,
 - вибрации и механический износ,
 - акустический дискомфорт.
- Электродвигатели:
 - дополнительные потери и перегрев,
 - меньше возможностей использования с полной нагрузкой,
 - вибрации и механический износ,
 - акустический дискомфорт.
- Трансформаторы:
 - дополнительные потери и перегрев,
 - механические вибрации,
 - акустический дискомфорт,
 - автоматический выключатель,
 - ненужное срабатывание по причине превышения пикового значения тока.
- Кабели:
 - дополнительные диэлектрические и химические потери, особенно в нейтрали, при наличии гармоник третьего порядка,
 - перегрев.
- Компьютеры:
 - функциональные нарушения, приводящие к потерям данных или неправильной работе управляющего оборудования.
- Силовая электроника:
 - искажения формы волны: переключение, синхронизация и пр.

Сводная таблица эффектов, причин и последствий воздействия гармоник

Эффекты воздействия гармоник	Причины	Последствия
На проводники	<ul style="list-style-type: none"> • Гармонические токи приводят к повышению значения Irms • Поверхностный эффект снижает эффективное поперечное сечение проводников по мере повышения частоты 	<ul style="list-style-type: none"> • Ненужное срабатывание защитных устройств • Перегрев проводников
На проводник нейтрали	<ul style="list-style-type: none"> • Сбалансированные потребители на три фазы + нейтраль генерируют множественные нечетные гармоники третьего порядка 	<ul style="list-style-type: none"> • Смыкание гомополярных гармоник на нейтрали приводит к перегреву и превышению силы тока
На трансформаторы	<ul style="list-style-type: none"> • Повышенное значение IRMS • Вихревые потери пропорциональны частоте 	<ul style="list-style-type: none"> • Повышенный перегрев по причине эффекта Джоуля в обмотках • Повышенные потери в металле
На электродвигатели	<ul style="list-style-type: none"> • Подобны эффектам для трансформаторов и генерируют поле в дополнение к основному 	<ul style="list-style-type: none"> • Подобно эффектам для трансформаторов, плюс потеря КПД
На конденсаторы	<ul style="list-style-type: none"> • Пониженное полное сопротивление конденсаторов с повышенной частотой 	<ul style="list-style-type: none"> • Преждевременное старение, усиление существующих гармоник