Миркон

КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

ФИЛЬТРАЦИЯ ГАРМОНИК

Содержание

1. Общие вопросы по гармоникам и устранению гармонических возмущений в силовых сетях 1
2. Отечественная и международная нормативно-правовая база в области гармонических возмущений и их устранения в силовых сетях. 5
3. Нормативно-правовая база в области устранения гармонических возмущений 5
4. Техническая необходимость и финансовые выгоды устранения гармонических возмущений в силовых сетях. 7
5. Активные (АФГ) и пассивные фильтры гармоник в решении проблем гармонических возмущений в силовых сетях. 10
6. Пассивные фильтры гармоник 11
7. Выбор топологии и расчет пассивного фильтра гармоник 12
8. Расчет пассивного настроенного фильтра 13
9. Активные фильтры гармоник 14
10. Выбор активных фильтров гармоник 15
11. Schneider Electric™. Решения для фильтрации гармоник Accisine+ 17
12. Технические характеристики AccuSine PCSn 19
13. Технические характеристики AccuSine PCS+ 23
14. Технические характеристики AccuSine PFV+ 27
15. TDK-Epcos™. Решения для фильтрации гармоник PQSine 31
16. TDK-Epcos™. Решения для фильтрации гармоник PQVar 40
17. Пакеты параметров качества электроэнергии в сети - минимальный (стандартный) и используемый компанией «МИРКОН» 45
18. Модернизация фильтров в решениях компании «МИРКОН» 46
19. Гарантийные обязательства компании «МИРКОН» 47
20. Приложение 1: Опросный лист на выбор конденсаторной установки. Лист 1 50

Общие вопросы по гармоникам и устранению гармонических возмущений в силовых сетях

Для общего понимания проблемы гармоник и ее технических решений нужно знать о следующих безусловных фактах:

1. гармоники – токи с частотой, которая кратна и отличается от фундаментальной частоты (в нашей стране 50 Гц), т.е.:

- 2-й порядок 2 × 50 = 100 Гц;
- 3-ий – 3 × 50 = 150 Гц;
- 4-ый – 4 × 50 = 200 Гц.

Гармоники накладываются на ток фундаментальной частоты и искажают форму его синусоиды, что влечет за собой искажение формы и величины напряжения и т.д.

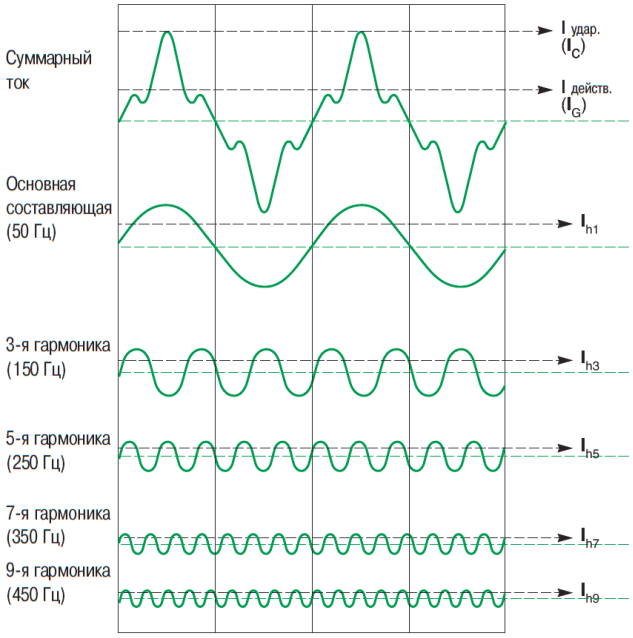


Рис. *Высшие гармоники первых порядков и искажение синусоиды тока фундаментальной частоты 50 Гц;*

2. гармоники генерируются любой нелинейной нагрузкой, в том числе экономичными в энергопотреблении электродвигателями с регулируемой частотой вращения, приводами с многофазными преобразователями (выпрямителями и инверторами), компьютерами, системами энергосберегающего освещения и т.д.

Т.е. чем лучше по регулированию, энергопотреблению, функциональности оборудование (нагрузка), тем больше гармоник «выплескивается» в силовую сеть и тем существеннее искажается фундаментальный ток, напряжение, частота – основные параметры качества электроэнергии.

Однако гармонические возмущения не являются «эксклюзивными» для каждой конкретной сети (сегмента сети) – их «инклюзивность» выражается в транзитной эмиссии (или миграции) между сетями сверхвысокого, высокого, среднего и низкого напряжения, что приводит к повышению загрязненности гармоническими возмущениями сетей всех уровней иерархии, причем наиболее «накопительными» становятся низковольтные сети из-за меньших амплитуд токов короткого замыкания.

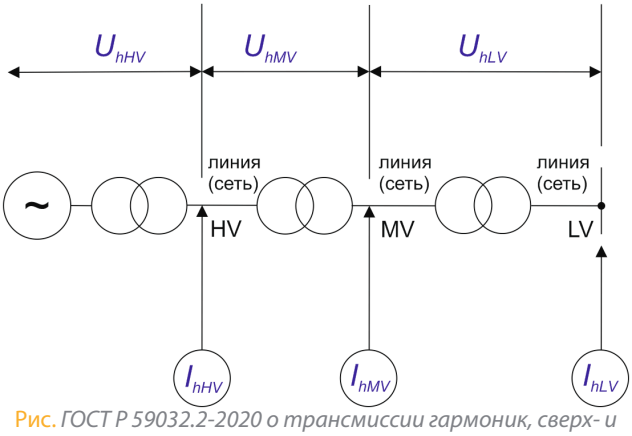


Рис. *ГОСТ Р 59032.2-2020 о трансмиссии гармоник, сверх- и интергармоник между сетями среднего, высокого и сверхвысокого напряжения.*

Поэтому новые ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020 и ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020 не только устанавливают индикативные значения планируемых уровней электромагнитной совместимости по эмиссии гармоник, сверх- и интергармоник для систем электроснабжения среднего, высокого и сверхвысокого напряжения (*см. более детально здесь*), но и определяют в п. 5.4 ответственности сетевой организации и Абонента по обеспечению этих норм в точке оценки (*POE - point of evaluation*), точке общего присоединения (*PCC - point of common coupling*) или точке присоединения (*POC - point of connection*).

Т.е. по факту уже в ближайшее время стоит ожидать формализации в договорах на технологическое присоединение к распределительным сетям пороговых значений не только коэффициента реактивной мощности, но и эмиссии нечетных и четных гармоник, невыполнение которых повлечет за собой штрафные санкции, как минимум в виде добавок к тарифу на оплату электроэнергии.

3. любые гармонические возмущения являются «паразитными» в отличие от «оборотной» реактивной энергии на фундаментальной частоте (см. разд. «Реактивная мощность. Почему «компенсировать», а не нивелировать» каталога Конденсаторных установок «МИРКОН»), негативно влияют на параметры качества электроэнергии, вызывают дополнительные потери мощности, увеличивают погрешности электроизмерительных приборов, делают невозможным использование силовых сетей в качестве информационных каналов, сокращают срок службы оборудования, кабельных линий.

Так, исследования[1] показывают, что уже при несимметрии напряжения 2% и несинусоидальности 5% сокращается срок службы:

- асинхронных двигателей на 21 %;
- синхронных двигателей на 32%;
- силовых трансформаторов на 8 %;
- кабельных коммуникаций на 40%.

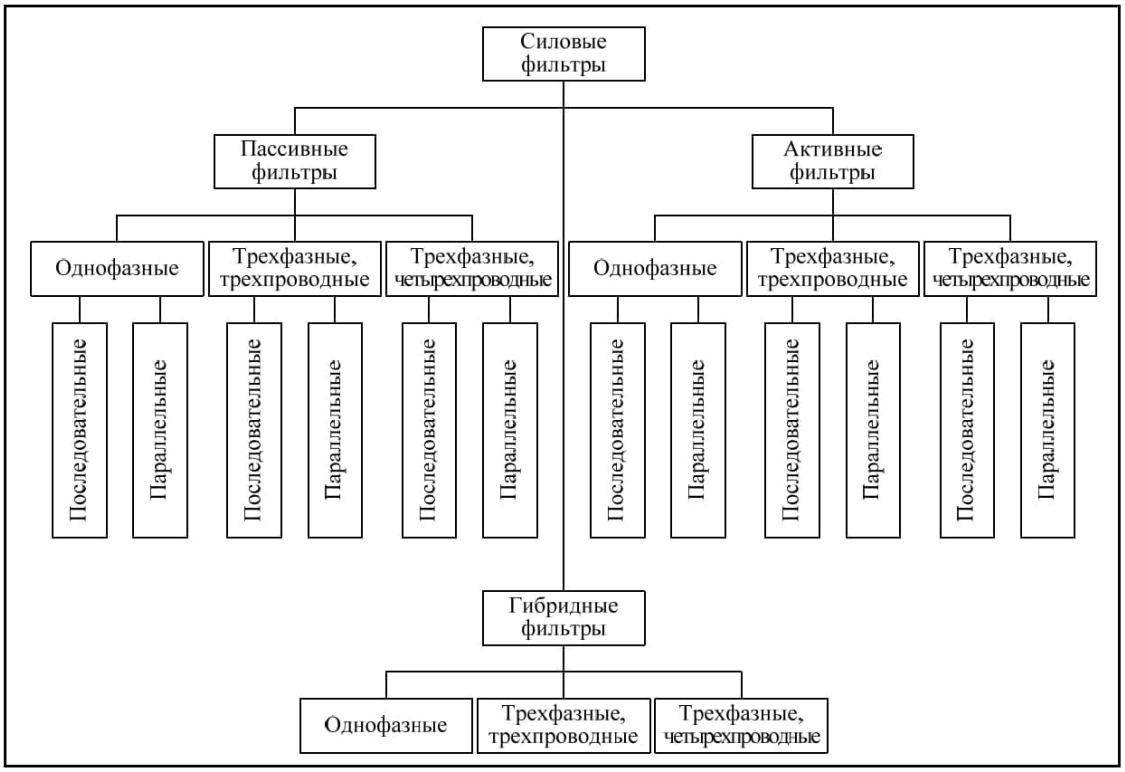
Справка: Если для нашей страны повышенное внимание к гармоническим возмущениям в силовых сетях низкого и (отчасти) среднего напряжения до недавних пор было не характерным, то в развитых зарубежных странах уже давно стало нормой. Это обусловлено не только трендом автоматизации силовых сетей с переходом на цифровое управление программно-аппаратными комплексами, но и реальной финансовой выгодой (прямой и косвенной) для предприятий при нивелировании гармоник. Как итог - IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker), BDEW (Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft) еще с начала века формализовали в стандартах предельные нормы гармонических токов в сетях низкого и среднего напряжения, что de facto стимулировало разработки в направлении устранения гармонических возмущений и определило лидерство ряда зарубежных компаний в этом сегменте.

Таблица. *Предельные нормы гармонических токов (в % от номинального) в сетях низкого и среднего напряжения по зарубежным стандартам.*

Порядок гармоники, h	VDE-AR-N 4105 (LV)	BDEW (MV)	IEEE 1547 (LV & MV)
5	2.08	2.06	4
7	1.39	2.84	4
11	0.69	1.8	2
13	0.55	1.32	2
17	0.42	0.76	1.5
19	0.35	0.62	1.5
23	0.28	0.42	0.6
25	0.21	0.35	(23 ≤ h < 35)
25 < h < 40	5.2/h	8.67/h	0.3
40 < h < 180	6.24/h	6.24/h	(h > 35)

Из-за наличия в силовых сетях с нелинейной нагрузкой гармонических искажений баланс мощности сегодня стали определять не по «треугольнику» на фундаментальной частоте, а по «параллепипеду» согласно IEEE 1459 с учетом нефундаментальной полной мощности, включающей мощности гармоник, искажений тока и искажений напряжения.

4. гармоники нивелируют (устраняют) специальными силовыми фильтрами, которые в общем могут быть пассивными (резонансными колебательными контурами), активными (АФГ) и гибридными, формируемыми из пассивных и активных фильтров;



гармоники до 11-13 порядков в той или иной мере успешно «гасятся» пассивными фильтрами(узкополосными, широкополосными, комбинированными) в виде колебательных LC-, а чаще RLC-контуров, как правило недорогими шунтирующими.

По сути (*упрощенно*), пассивный фильтр настраивается так, чтобы на частоте гармоники, которую нужно «загасить», он имел маленькое сопротивление, т.е. току было проще пойти через фильтр, а там энергия гармоники рассеивалась в проводах, соединениях, трансформируясь в тепловую;

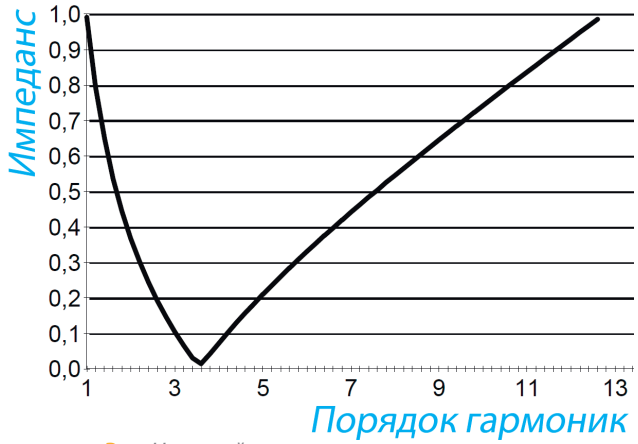


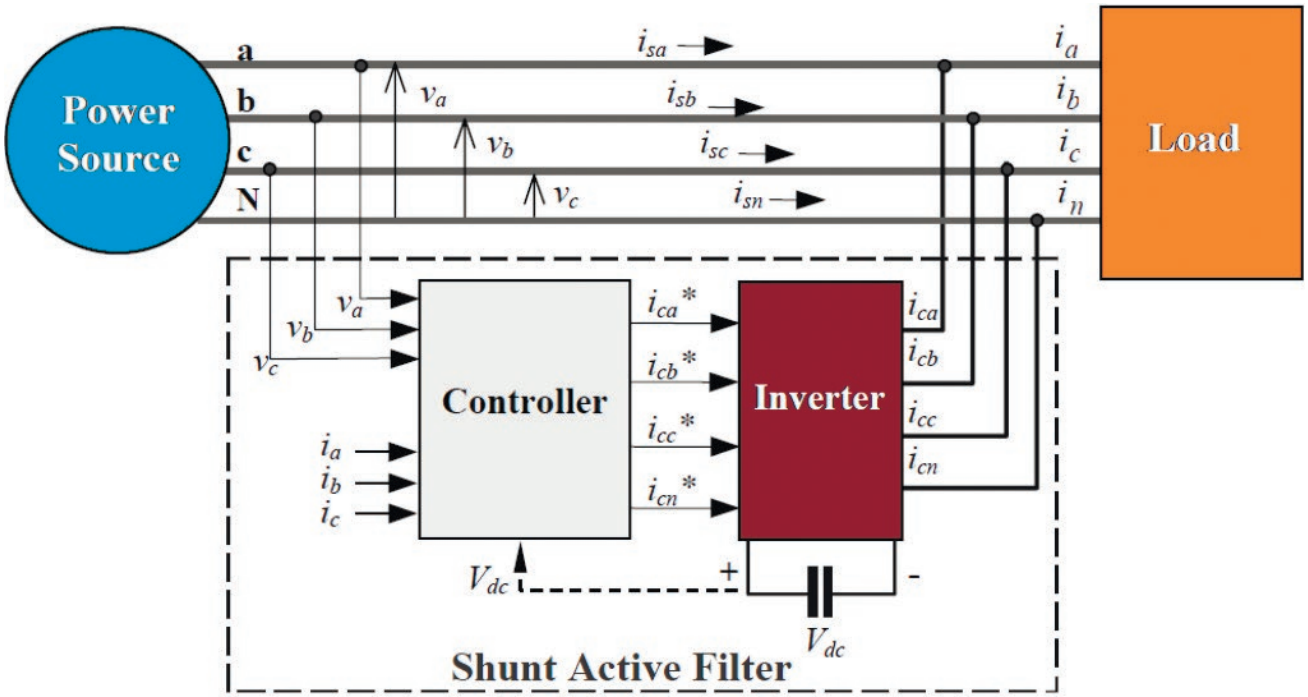
Рис. *Настройка типового узкополосного пассивного фильтра*

5. активный фильтр гармоник в отличие от пассивного узкополосного работает не с одной частотой (гармоникой), а «подстраивается» под гармоники по их порядку (частоте), величине в интервале от 1 до 25 или 50, и имеет совершенно другой принцип работы – он «выплескивает» в сеть токи такой же частоты и амплитуды, но с обратной кривой синусоиды (в противофазе).

В итоге наложения «противотока» активного фильтра на ток гармоники последняя просто исчезает (условно) и чем быстрее срабатывает фильтр, тем чище становится сеть, хотя и выше места подключения, поскольку на промежутке сети фильтр-нагрузка собственно и идет «борьба» противотоков с токами гармоник.

6. практически любой активный фильтр гармоник на рынке – по факту активное фильтрокомпенсирующее устройство (АФКУ), т.е. может использоваться и для подавления гармоник, и для компенсации реактивной мощности.

Просто инвертор АФКУ на фундаментальной частоте будет выплескивать в сеть ток в противофазе реактивным токам нагрузки, причем все равно какой – емкостной или индуктивной в отличие от конденсаторных батарей (или устройств), сбрасывающих в сеть только емкостные токи для подавления реактивных токов индуктивного характера. Есть превентивно настроенные на приоритетную компенсацию реактивной мощности версии АФКУ типа Static var generator (SVG), но все равно это те же фильтрокомпенсирующие устройства с интеллектуальным контроллером и ведомым трехуровневым (3L)



инвертором на биполярных транзисторах, запакованные вместе с емкостными и/или индуктивными накопителями энергии (конденсаторы и катушки).

7. на отечественном и зарубежном рынках превалируют шунтирующие пассивные и активные ФКУ, существенно более финансово доступные, чем их аналоги последовательного включения в сеть, мощность которых априори не может быть меньше мощности нагрузки.

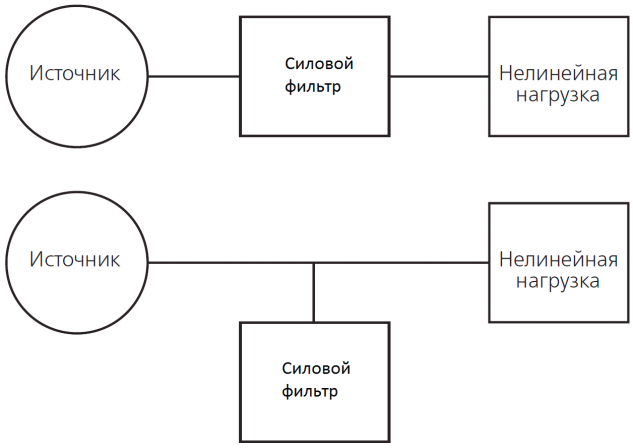


Рис. *ФКУ последовательной (сверху) и поперечной (шунтирующие) компенсации (снизу).*

чем конструктивно сложнее и мощнее любой, а особенно активный фильтр, тем он дороже, поскольку в АФГ и для управления, и в силовой части (3L инвертор) используются очень недешевые биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ или IGBT - Insulated Gate BipolarTransistors).

Поэтому в подавляющем большинстве случаев экономически выгодно:

«глушить» гармоники прямо возле генерирующей их нагрузки, что снижает мощность ФКУ и локализует «токи-противотоки» на небольшом участке, освобождая силовую сеть выше места подключения от гармонических искажений; настраивать ФКУ на работу не со всем возможным спектром искажающих частот, а только с интенсивными гармониками.

Т.е. желательно исключить гармоники малозначимые по амплитуде и/или частоте (не влияющие на передачу по сети управляющих сигналов), но суммарно «оттягивающие» на себя часть мощности ФКУ

Отечественная и международная нормативно-правовая база в области гармонических возмущений и их устранения в силовых сетях.

Несмотря на проведение интенсивных научных изысканий в направлении негативного гармонических возмущений влияния на силовые сети уже не менее двух десятков лет, а также ряд эффективных разработок технических средств (АФГ, АФКУ) для локализации источников искажений сетевых параметров, практический интерес к проблеме гармоник в нашей стране по факту был стимулирован стартом цифровой трансформации электросетей после введения в действие новой Энергетической стратегии России.

Отечественная нормативно-правовая база в области стандартизации гармонических возмущений пока только развивается, хотя достаточно активно, что подтверждает:

- факт замены с 01.2021 ГОСТ IEC/TR 61000-3-14-2019 по эмиссии гармоник, интергармоник только в низковольтных сетях более актуальными ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020 и ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020, которые определяют нормы электромагнитной эмиссии гармоник, сверх- и интергармоник для систем электроснабжения низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения в их совокупности при взаимном влиянии;
- разработка пакета давно ожидаемых стандартов по фильтрам гармоник - принятые в декабре 2020 ГОСТ Р 59032.1-2020, ГОСТ Р 59032.2-2020, ГОСТ Р 59032.3-2020 и в январе 2021 ГОСТ Р 59032.4-2020, в том числе по активным фильтрам гармоник (АФГ) ГОСТ Р 59031-2020).

Тем не менее, пока не проработаны в полной мере вопросы реальных потерь от гармоник в силовых сетях, финансовой выгоде от интеграции АФГ, а стимул к решению этой проблемы дает заявленная в планах новой Энергетической стратегии РФ цифровая трансформация электросетей и ожидаемые в ближайшее время изменения ФСТ России в «Правила недискриминационного доступа…» с нормированием электромагнитной эмиссии гармоник (сверх- и интергармоник) подобно коэффициенту мощности.

Базовыми международными документами, определяющими расчет, выбор и эксплуатацию фильтров высших гармоник являются IEEE Std 519 -2014 (*Рекомендованная IEEE практика и требования к управлению гармониками в электроэнергетических системах*), но больше - IEC 61642. (*Промышленные сети переменного тока, затронутые гармониками - Применение фильтров и шунтирующих конденсаторов*), где:

- помимо основной терминологии (*изложена в ГОСТ Р 50397-2011 – рецепция МЭК 60050-161:1990 и ГОСТ 30804.4.7-2013 – рецепция IEC 61000-4-7:2009*) введены термины и обозначения:

  - фильтра (*filter*) (*гармоник*) сегмент сети из реакторов, конденсаторов и резисторов, настроенный при необходимости для получения требуемого сопротивления в заданном диапазоне частот;

  - частоты настройки (*tuning frequency*) - частоты, для которой сопротивление фильтра, рассчитанное из номинальных значений, имеет минимальную или максимальную величину;

  - настроенного фильтра (*tuned filter*) – с частотой настройки, которая отличается не более чем на 10% от частоты, которая должна быть отфильтрована;

  - расстроенного фильтра (*detuned filter*) - с частотой настройки более чем на 10% ниже самой низкой частоты гармоники с значительной амплитудой тока / напряжения;

  - демпфирующего фильтра (*damped filter*) - с низким, главным образом, резистивным импедансом в широкой полосе частот;

  - характеристических гармоник (*characteristic harmonics*) – гармоник порядка 5, 7, 11, 13, 17, 19… ($h = m \cdot p \pm 1$, где п - число импульсов преобразователя, m - любое целое число);

  - не характеристических гармоник (non-characteristicharmonics), возникающих из-за дисбаланса в системе переменного тока или генерируемые нелинейными нагрузками типа преобразователей часто-

ты, флуоресцентных ламп, дуговых печей, электрических сварочных машин и т.д.;

- формализованы фундаментальные формулы определения резонансной частоты L-C колебательного контура при последовательном и параллельном соединении конденсаторов и индуктивности через волновой реактивный импеданс:

$$\frac{f_{рез}}{f_1} = \sqrt{\frac{1}{p}}$$

Справка: Сопротивление реактивных элементов контура при резонансе (или характеристическое волновое сопротивление):

$$p = \frac{X_{L1}}{X_{C1}}$$

- отношение индуктивного сопротивления к емкостному, однако помимо этого p показывает изменение напряжения емкости в контуре

$$U_C = U_N \cdot \frac{1}{1-p}$$

при разных отношениях

$$\frac{f_{LC}}{f_1}$$

и определяет выбор оптимальной частоты резонанса, что обусловило применение некорректных терминов - коэффициент частотной расстройки, коэффициент дросселирования, коэффициент перенапряжения и пр.

В свою очередь в IEEE 1459 еще в 2010 году была пересмотрена концепция основных параметров электрической сети и введены определения фундаментальной (*fundamental apparent power*) на частоте 50 Гц (или 60 Гц) - S_1, нефундаментальной (*non fundamental apparent power*) полной мощности S_N и полной мощности гармоник (*harmonic apparent power*) S_H.

Если из среднеквадратичных значений сетевого напряжения и тока выделить U_1 и I_1 первой (*фундаментальной*) частоты, то:

$$U^2 = U_1^2 + U_H^2 \text{ и } I^2 = I_1^2 + I_H^2$$

где U_H^2 и I_H^2 – суммарные квадратичные значения напряжений и токов гармоник (частот выше фундаментальной);

$$S^2 = (U \cdot I)^2 = (U_1^2 + U_H^2) \cdot (I_1^2 + I_H^2) =$$
$$= (U_1 \cdot I_1)^2 + (U_1 \cdot I_H)^2 + (U_H \cdot I_1)^2 + (U_H \cdot I_H)^2$$

где $U_1 \cdot I_1$ – фундаментальная полная мощность S_1 (на частоте 50 Гц), $U_H \cdot I_H$ – полная мощность гармоник S_H, а нефундаментальная полная мощность S_N – сумма полной мощности гармоник S_H, мощности искажений тока $D_I = U_1 \cdot I_H$ и мощности искажений напряжения $D_U = U_H \cdot I_1$

Кроме того, стандарт ввел:

- понятие неактивной мощности (non active power)

$$N^2 = S^2 - P^2 = Q_1^2 + N_H^2$$

где Q_1 – реактивная мощность на фундаментальной частоте, N_H – мощность, переносимая высшими гармониками (в кВАр);

- понятие полной мощности гармоник

$$S_H^2 = (U_H \cdot I_H)^2 = P_H^2 + N_H^2$$

где P_H - переносимая высшими гармониками полная мощность;

- определение коэффициента мощности, как

$$PF = \frac{P}{S}$$

Т.е. по факту «еще вчера» нужно было переходить на расчеты баланса мощности не по «традиционному треугольнику», а по параллелепипеду, что было закреплено в IEEE 1459 и согласуется с наиболее популярными в мире теориями мощности в сетях с нелинейной нагрузкой.

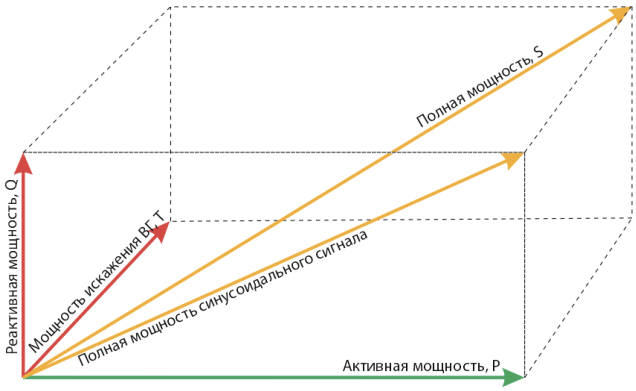


Рис. *Параллелепипед мощности в сетях с высшими гармониками (ВГ), генерируемыми нелинейной нагрузкой согласно IEEE 1459.*

Как и в случае организационных мероприятий или интеграции технических средств повышения коэффициента мощности (см. финансовые выгоды компенсации реактивной мощности здесь), прямое снижение счетов за оплату электроэнергию в результате локализации источников гармонических возмущений АФГ реально возможно за счет снижения потерь активной мощности на передачу неактивной составляющей на нефундаментальных частотах.

На текущий момент теоретически и практически доказан:

- рост потерь активной мощности при увеличении общего коэффициента гармонических искажений тока THD_I (*Total Harmonic Distortion* - *THD*), что происходит из-за повышения импеданса сети и трансформации электрической энергии в тепловую в проводниках, оборудовании, коммутационных аппаратах и пр.

  Зависимость ΔP от THD_I может быть представлена формулой $\Delta P = 1 + THD_I^2$ или графически (*см. рис. ниже*) и позволяет выполнить приближенную оценку экономической выгоды при уменьшении общего коэффициента гармонических искажений тока с помощью активных фильтров гармоник.

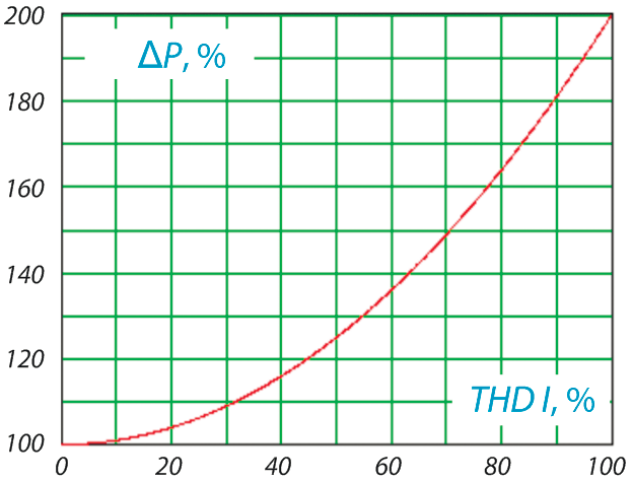


Рис. *Графическая зависимость потерь активной энергии на передачу неактивной мощности нефундаментальных частот от общего коэффициента гармонических искажений тока, где за начало ординат принято 100% ΔP на фундаментальной частоте (50 Гц)..*

- рост потерь активной мощности из-за скин(Skin)-эффекта и эффекта близости фазных проводников, обуславливающих повышение активного сопротивления кабельных линий и, соответственно, потери активной энергии.

Потери в каждой фазе (и нулевом проводе) для нелинейных, в том числе несимметричных сетей описываются уравнениями (*см. ниже*), где ΔP_A – потери активной мощности (*например, фаза А*), $k_{\Pi\nu}$ и $k_{б\nu ф}$ – соответственно коэффициенты скин-эффекта и эффекта близости проводников в кабеле, $r_{оф}$ – удельное сопротивление проводника, l_A и $d_ф$ – соответственно длина участка цепи и диаметр фазного проводника, a – среднее расстояние между центрами проводников (для четырехпроводного кабеля $a^б = l_{AB} \cdot l_{AC} \cdot l_{BC} \cdot l_{A0} \cdot l_{B0} \cdot l_{C0}$), f и $I_{\nu A}$ – соответственно частота и ток ν-той гармоники.

$$\Delta P_A = r_{оф} \cdot l_A \cdot \sum_{\nu=2}^{n} I_{\nu A}^2 \cdot (k_{\Pi\nu} + k_{б\nu ф})$$

$$k_{\Pi\nu} = 0,021 \cdot \sqrt{f}$$

$$k_{б\nu ф} = \frac{1,18 + k_{\Pi\nu}}{0,27 + k_{\Pi\nu}} \cdot \left(\frac{d_ф}{a}\right)^2$$

Рис. *Формулы расчета потерь активной энергии в фазных (и нулевом) проводах из-за скин-эффекта и эффекта близости проводников.*

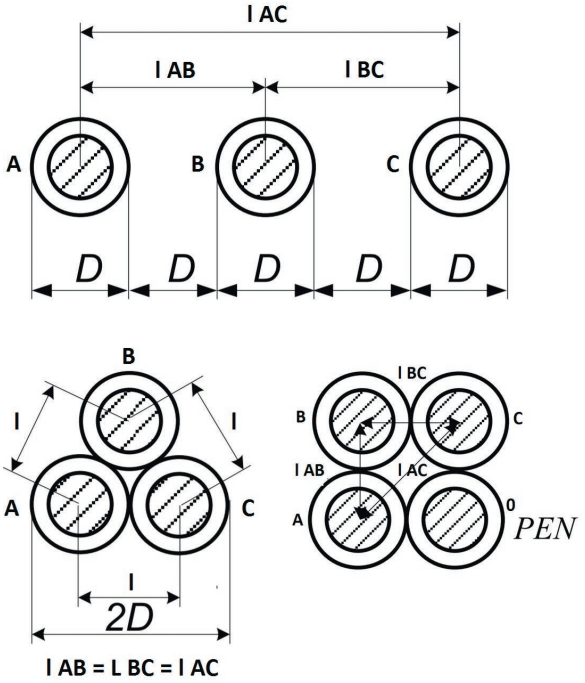


Рис. *Схемы размещения фазных проводников в силовых сетях для определения расстояний между центрами.*

- рост потерь активной мощности в понижающих трансформаторах всех уровней от ТП подстанций до цеховых и питающих единичное (или группу) оборудование.

Техническая необходимость и финансовые выгоды устранения гармонических возмущений в силовых сетях.

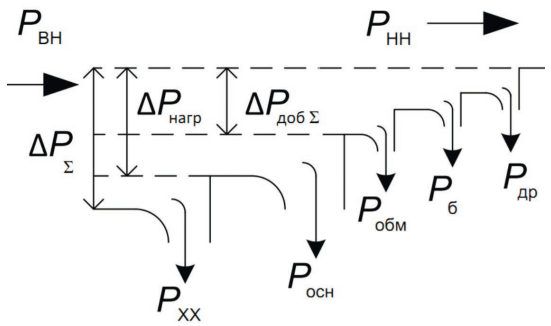


Рис. *Диаграмма потерь активной энергии в трансформаторе, где $P_{ВН}$ – суммарная мощность на стороне высокого напряжения; $P_{НН}$ – суммарная мощность на стороне низкого напряжения; Pxx – потери холостого хода; Pнагр – нагрузочные потери (потери короткого замыкания); Pосн – основные (омические) потери; Pдоп – дополнительные потери от действия полей рассеяния; Pобм – потери от вихревых и циркулирующих токов в обмотках под действием полей рассеяния; Pб – потери в баке трансформатора; Pдр – потери от вихревых токов в других частях трансформатора (кроме обмоток и бака) под действием полей рассеяния).*

Дополнительные потери активной мощности при несимметрии напряжений рассчитывают в виде суммы дополнительных потерь холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ), которые возрастают пропорционально квадрату номера гармоники:

$$\Delta P_T = \xi_u^2 \cdot \left(\Delta P_{x.x} + \frac{\Delta P_{к.з}}{u_{к.з}^2} \right), \; Вт$$

где ξ_u – коэффициент несимметрии напряжений (отношение напряжения обратной последовательности к номинальному; ΔP_{xx} – потери холостого хода при фундаментальной частоте, кВт; $\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания на основной частоте, кВт; $U_{к.з}$ – напряжение короткого замыкания в о.е.

В номинальном симметричном режиме потери холостого хода:

$$\Delta P_{x.x} = 3 \cdot U_H \cdot I_{x.x} \cdot \cos \varphi_{x.x}, \; Вт$$

где I_{xx} – номинальный ток, а $\cos\varphi_{xx}$ – коэффициент мощности холостого хорда трансформатора.

Или, если условно принять, что потери холостого хода в номинальном режиме равны по каждой фазе, а потери холостого хода для одной фазы (кВт) обозначить $\Delta P^{(1)}_{x.x}$, то:

$$\Delta P_{x.x}^{(1)} = \frac{\Delta P_{x.x}}{3}, \; Вт$$

Потери короткого замыкания $\Delta P^{(1)}_{к.з}$ в номинальном режиме для одной фазы рассчитываются аналогично и составляют

$$\Delta P_{к.з}^{(1)} = \frac{\Delta P_{к.з}}{3}, \; Вт$$

В свою очередь дополнительные потери холостого хода ΔP_{xv} при несинусоидальности напряжения будут равны:

$$P_{xv} = P_x \cdot \sum_{v=2}^{n} U_{v*}^2, \; Вт$$

где U_{v*} - относительное значение напряжения на v-й гармонике, которое равно

$$U_{v*} = \frac{U_v}{U_{ном}}$$

Дополнительные потери активной мощности короткого замыкания при несинусоидальности напряжения:

$$\Delta P_{kv} = 0,607 \cdot \frac{\Delta P_{к.з}}{u_{к.з}^2} \cdot \sum_{v=2}^{n} \frac{1 + 0,05 \cdot v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \cdot U_{v*}^2, \; Вт$$

Тогда суммарные потери трансформатора в одной фазе при несинусоидальном режиме работы:

$$\Delta P_v = \Delta P_{x.x}^{(1)} \cdot \sum_{v=2}^{n} U_{v*}^2 + 0,607 \cdot \frac{\Delta P_{к.з}}{u_{к.з}^2} \cdot \sum_{v=2}^{n} \frac{1 + 0,05 \cdot v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \cdot U_{v*}^2, \; Вт$$

В свою очередь суммарные потери трансформатора при работе в несимметричном и несинусоидальном режиме:

$$\Delta P = \Delta P_T^{A,B,C} + \Delta P_v^{A,B,C} + \Delta P_{x.x} + \Delta P_{к.з} \cdot \beta^2$$

где β – коэффициент нагрузки трансформатора.

Кроме того, потери от высших гармоник приводят к перегреву токоведущих частей силового оборудования, в том числе изоляции обмоток трансформаторов, что определяет сокращение реального срока службы. Градиент температуры $\Delta\tau$ из-за воздействия гармонических искажений:

$$\Delta \tau = \tau_{м.н} \cdot \left[\left(\frac{\sum \Delta P}{\sum P_{ном}} \right)^{n_0} - 1 \right] + \tau_{(об-м)н.} \cdot \left(\beta^{2 \cdot n} - 1 \right)$$

где n и n_0 – коэффициенты, значения которых принимаются соответственно в диапазонах 0,7–0,8 и 0,6–0,8; $\tau_{м.н}$ и $\tau_{(об-м)н}$ – установившиеся значения температур масла и обмоток соответственно при номинальных условиях.

С учетом формул потерь активной мощности трансформатора (см. выше) формула расчета градиента температур приводится к виду:

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{м.н} \cdot n_0 \cdot \frac{\Delta P_{к.з}}{S_{ном}}}{u_{к.з}^2 \cdot \left(\frac{\Delta P_{к.з}}{S_{ном}} + \frac{\Delta P_{х.х}}{S_{ном}} \right)} \cdot \left(\xi_u^2 + 0,607 \cdot \sum_{v=2}^{50} \frac{1+0,05 \cdot v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \cdot U_v^2 \right) +$$

$$+ \frac{\tau_{(об-м)н.} \cdot n}{u_{к.з}^2} \cdot \left(\xi_u^2 + 1,291 \cdot \sum_{v=2}^{50} \frac{U_v^2}{v^2} \right), \ ^\circ C$$

Сокращение реального срока службы трансформатора можно определить по формуле:

$$\Delta V = \frac{V - V_{НКЭ}}{V} = 1 - e^{-\alpha \cdot \Delta\tau}, \ \%$$

где $V_{НКЭ}$ – срок службы при некачественной электроизоляции; α – коэффициент старения изоляции, который для трансформаторов равен α = 0,1155 °C^{-1}.

Кроме того, прямое сокращение счетов за электроэнергию при локализации источников гармонических возмущений может происходить за счет нивелирования рисков оплаты:

- надбавок к «тарифу на услуги по передаче электрической энергии (в том числе в составе конечного тарифа (цены) на электрическую энергию)» из-за «нарушений значений соотношения потребления активной и реактивной мощности» (*п. 16 «Правил недискриминационного доступа…» в редакции от 29.06.2020*).

Это возможно благодаря уменьшению регистрируемых значений и погрешности приборов учета реактивной энергии, показывающих значительные отклонения от реальных величин при больших амплитудах гармоник.

Так, на текущий момент промышленными и непромышленными объектами в основном используются 3 типа «измерительных» счетчиков с различными блок схемами и формулами расчета реактивной энергии, причем во всех расчетных формулах реактивная мощность определяется по фундаментальной и всем нефундаментальным частотам, т.е. снижение амплитуд токов гармоник уменьшает и итоговое значение реактивной энергии, а значит и коэффициента реактивной мощности. Кроме того, ряд отечественных и зарубежных исследований показывают, что при определенном соотношении гармоник и величине сдвига фаз между напряжением и током регистрируемые счетчиком значения реактивной мощности могут отклоняться от реальных величин на 8%, а погрешность прибора 6.3%, что значительно для предприятий с большой потребляемой мощностью.

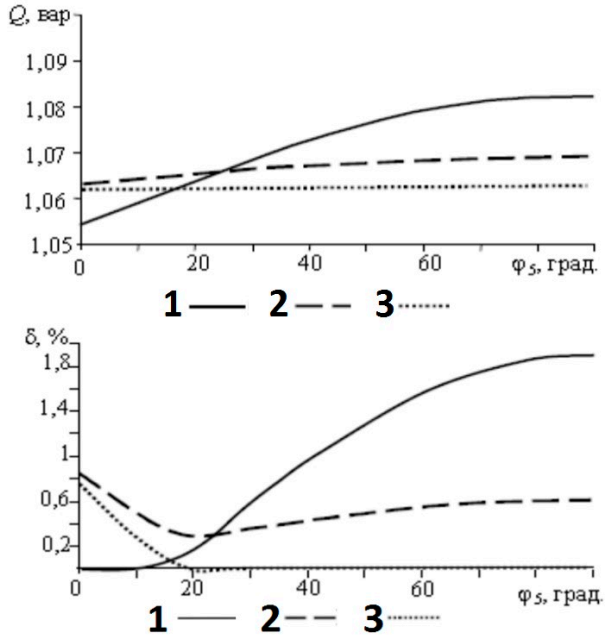


Рис. *Зависимость показаний реактивной мощности и погрешности прибора учета от угла сдвига фаз (по 5-й гармонике).*

- надбавок (в ближайшей перспективе) к тарифу из-за нарушений нормируемого показателя электромагнитной эмиссии гармоник, сверх- и интергармоник в точке оценки (POE - point of evaluation) - точке общего присоединения (PCC - point of common coupling) или точке присоединения (POC - point of connection), где подключено оборудование с эмиссией электромагнитных помех.

Пока эти надбавки не формализованы, но наверняка будут определены ФСТ России после введения в действие с 01.2021 ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020 и ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020, а также разработки соответствующих документов ПАО «РОССЕТИ» и ПАО ФСК ЕЭС.

АФГ в целом правомерно отнести к наиболее прогрессивным на текущий момент фильтрующим устройствам благодаря принципу их работы – «вбрасыванию» в сеть токов в противофазе реактивным токам нагрузки, причем все равно какой – емкостной или индуктивной, что позволяет практически «обнулить» гармонические искажения в большом спектре частот. Наряду с этим, АФГ очень дорогие и их цена растет с увеличением мощности и расширением спектра демпфируемых гармоник, работают фильтры только по стороне сети ниже места подключения, а сам инвертор (ШИМ-преобразователь) активного фильтра является источником гармонических возмущений.

Предельно осложняет покупку АФГ комплектные поставки из-за рубежа уже с «пакетом» дорогих IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) транзисторов в силовом и управляющем блоках и, хотя производители предлагают «отключить» те или иные «ветви» генерации гармоник при настройке, но платить приходится «оптом за все». Поэтому, а особенно с учетом экономического спада в стране в период пандемии активные фильтры гармоник можно признать хорошим, но вряд ли единственно целесообразным решением очистки силовой сети от гармонических возмущений. Тем более, что для превалирующего большинства силовых сетей отечественных предприятий, в том числе с ШИМ-преобразователями характерны большие амплитуды токов гармоник до 13-15 порядков, с которыми хорошо стравляются и экономичные по инвестициям пассивные фильтры.

Пассивные фильтры гармоник

Пассивные фильтры гармоник – колебательные контура из индуктивности и емкости (по факту RLC – цепи), в которых (упрощенно) происходит трансформация энергии электрического поля (при разряде конденсатора) в энергию магнитного поля (при протекании тока по катушке индуктивности) и наоборот. По сути, после разряда конденсатора ток идет в катушку, где возникает противодействующее ЭДС с противоположным по знаку напряжением, что приводит к перезарядке конденсатора и т.д. «по кругу» до полного затухания колебаний из-за потерь энергии на активном сопротивлении.

Наиболее простыми и эффективными для подавления гармоник первых порядков вплоть до 13-17 пока остаются настроенные фильтры в виде колебательных LC-, а чаще RLC-контуров, в которых дополнительно вводится резистивное сопротивление для демпфирования зависимости работы контура от сопротивления силовой сети.

Справка: В отличие от LC-контуров демпфированные (сопротивлением) RLC-фильтры имеют добавочное реактивное сопротивление, позволяющее снизить зависимость работы фильтра от сопротивления силовой сети, увеличить полосу пропускания частот, но снижающее добротность контура. Для демпфированных фильтров добротность

$$g = \frac{X_0}{R}, \text{ где } X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

– реактивное сопротивление фильтра на резонансной частоте, а полоса пропускания

$$\Delta f = \frac{f_{рез}}{g},$$

т.е. чем больше демпфирующее сопротивление в контуре, тем меньше добротность, но шире полоса пропускания фильтра.

Емкостное сопротивление контура фильтра (или каждого модуля-звена)

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C},$$

индуктивное

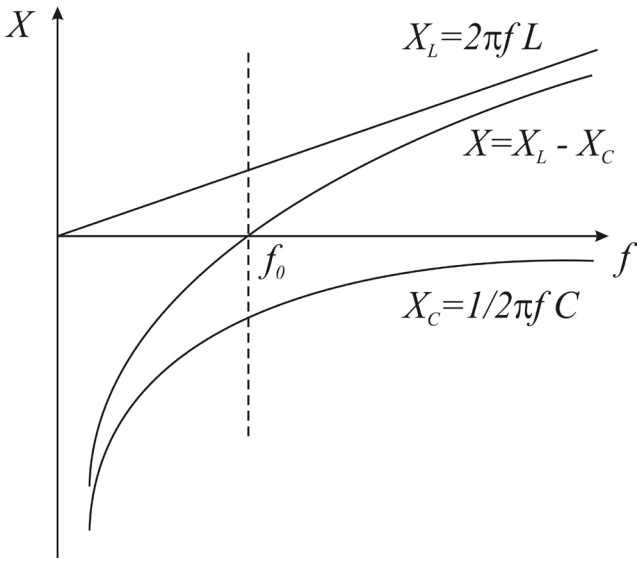
$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L$$

(угловая частота $\omega = 2\pi \cdot f$), а модуль комплексного сопротивления:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

При последовательном соединении в цепочку емкости и индуктивности и параллельном присоединении контура в сеть комплексное сопротивление контура может быть или индуктивным, или емкостным, поскольку с повышением частоты индуктивное

сопротивление увеличивается, а емкостное уменьшается.



На определенной частоте f_0 (или ω_0), называемой резонансной

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot C} = X_L = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot L$$

и комплексное сопротивление равно активному, т.е. минимально. Тогда токи резонансной (или близкой к ней) частоты пойдут от нагрузки не в сеть, а через контур, где будут «гаситься» активным сопротивлением цепочки, при частотах больше резонансной контур будет работать, как насыщающийся реактор с ослаблением гармонических колебаний, при более низких частотах – как компенсатор реактивной мощности емкостного характера. По этому принципу построены большинство пассивных шунтирующих фильтров, подключаемых параллельно в силовую сеть, а резонансная частота подбирается в зависимости от частоты гармоники с максимальной амплитудой по IEC 61642, где определены безопасные (для информационных каналов телекоммуникаций) частоты резонанса для промышленных (и аналогичных им по характеру нагрузок) сетей.

Справка: IEC 61642 определяет правила использования пассивных фильтров с несколькими ветвями (звеньями, модулями), в том числе по подключению цепей – все вместе, автономно или попарно (например, 5-й и 7-й, 5-й и 11-й гармоник), но исключительно последовательно в порядке возрастания порядка гармоники (5, 7, 11 и т.д.), отключению (последовательно от фильтров гармоник более высокого порядка). Это обусловлено тем, что в многозвенных пассивных фильтрах каждое звено имеет на частотах ниже резонансной емкостной характер, выше – индуктивный, что определяет риски появления резонансов токов или напряжений для гармоник ниже частоты настройки звена и поэтому подключение звеньев осуществляют последовательно, начиная с низшей частоты настройки, а отключение в обратном порядке. По рекомендациям IEC 61642 в силовых сетях с шести- и двенадцати импульсными ШИМ преобразователями целесообразно применять резонансные фильтры 5-й, 7-й, 11-й и 13-й высших гармоник (или в зависимости от реального уровня помех только 5-й, 5-й и 7-й, 5-й и 11-й гармоник), в сетях с 12-импульсными ШИМ преобразователями рациональны фильтры с настройкой по частотам 11-й и 13-й или только 11-й высших гармоник. В силовых сетях с электролизными установками, электродуговыми печами, сварочными автоматами целесообразными будут резонансные фильтры 3-й, 5-й и 7-й или 3-й и 5-й гармоник.Так же стандарт рекомендует настройки частот пассивных фильтров (резонансных и демпфирующих) для сетей с разным типом нагрузок.

Важно: На фундаментальной частоте благодаря конденсаторам шунтирующий резонансный фильтр работает, как компенсатор реактивной мощности, что следует учитывать при наличии установок повышения коэффициента мощности для исключения рисков перекомпенсации.Частоты гармонических возмущений и их амплитуды необходимо выявлять профессиональным анализом всего спектра гармоник в каждой конкретной сети в рамках энергоаудита объекта. Причем спектр и амплитуды частот искажений в идеале должны определяться, как в часы пиковой нагрузки, так и в полностью ненагруженной смети для выявления наличия, спектра, амплитуд гармоник, мигрирующих в сеть из распределительной сети (или любых других сетей аналогичного или разного уровня напряжения, балансовой принадлежности). Для превентивной оценки требуемой конфигурации, мощности и стоимости фильтра, ориентировочные данные для расчетов пассивных настроенных фильтров можно взять из паспортов нелинейной нагрузки и/или справочников.

Выбор топологии и расчет пассивного фильтра гармоник

При выборе места подключения, топологии пассивного настроенного фильтра следует придерживаться следующих правил:

- если по данным анализа качества электроэнергии в силовой сети (под и без нагрузки) выявлен факт трансмиссии гармоник из других сетей, в том числе распределительной, то согласно ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020, определяющему ответственности сетевой организации и Абонента сети, стоит подать рекламацию в сетевую организацию и нивелировать эмиссию гармоник источников в своей силовой сети;

Справка: В действительности речь идет не о простой трансмиссии (миграции) гармонических искажений через преобразовательную подстанцию, а о перегенерации гармоник преобразователями, вставками постоянного тока, трансформаторами, причем, как порядков $6k - 3$ (k – целое число), так и неканонических гармоник токов последовательностей $n \pm 2$, пульсирующих $2n$ и т.д. (n – номер гармоники). Это определяет необходимость проведения полного анализа силовой сети по пакету параметров EN 50160 или IEC 61000-4-15, причем не только в точке оценки (*POE или point of evaluation по терминологии ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020*), а лучше по «обе стороны» точки общего присоединения (*PCC или point of common coupling*) для определения оптимально способа и/или технического средства для выхода на нормируемый уровень электромагнитной совместимости;

- если по итогам анализа качества ЭЭ выявлено превышение нормы:

  - одной гармоники, то можно использовать наиболее простой настроенный фильтр;

  - двух и более гармоник, но не более 4 – блок из соответствующего числа модулей-фильтров;

  - более 4 гармоник – блок из 3-4 настроенных резонансных фильтров (узкополосных) плюс один широкополосный демпфирующий фильтр с частотой последней, не компенсированной гармоники;

Справка: IEC 61642 рекомендует применение демпфирующих (сглаживающих) фильтров (damped filter) с характеристическим волновым сопротивлением $p = X_{L1}/X_{C1} = 7\%$ (здесь X_{L1}/X_{C1} – отношение индуктивного и емкостного сопротивления на фундаментальной частоте f_1), настроенных на частоту $3{,}78 \cdot f_1$, которую стандарт считает оптимальной для большинства сетей с нелинейными нагрузками.

На практике широкополосные фильтры эффективны в подавлении частот, близких к частоте настройки, но работают тем хуже, чем выше гармоники от этой частоты. Поэтому для промышленных сетей (и трансформаторных подстанций разной балансовой принадлежности чаще используются пакетные решения из 2-3 резонансных и одного демпфирующего фильтра.

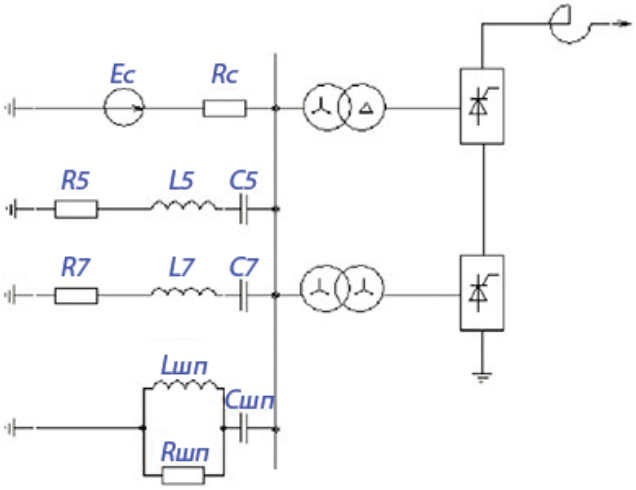


Рис. *Типовая топология фильтрокомпенсирующего устройства ТП из двух демпфированных узкополосных (5 и 7 гармоники) и одного демпфирующего широкополосного пассивных фильтров гармоник.*

- если в силовой сети по результатам анализа выявлены значительные искажения частоты, то нужно использовать демпфированные резонансные фильтры, а не обычные LC-контура.

Расчеты единичного узкополосного фильтра или звена фильтрокомпенсирующего устройства в идеале выполняются по данным полноценного анализа качества электроэнергии в сети по всему спектру частот гармоник вплоть до 49-го порядка, и желательно в рамках энергоаудита объекта для выявления изменений параметров сети в часы пиковой нагрузки и ненагруженном состоянии. Энергоаудит и замеры параметров качества электроэнергии позволяют определить оптимальное место интеграции

пассивного фильтра, наличие или отсутствие трансмиссии гармоник, интер- и сверхгармоник из сетей другого уровня напряжения, балансовой принадлежности, в том числе через ТП сетевой компании, критические (в аспекте норм стандартов по электромагнитной совместимости) гармоники и амплитуды их токов I_n (n – порядок гармоники), требуемые для расчета.

Если нет возможности провести энергоаудит с анализом параметров качества сети или в случае превентивной оценки характеристик требуемого фильтра, то токи гармоник находят ориентировочно для:

- нелинейных нагрузок «спокойного» режима [2] (*преобразователи прокатных станов непрерывного процесса, электролизного производства, систем освещения газоразрядных ламп и т.п.*) по формуле

$$I_{n\Sigma} = \frac{S_\Sigma \cdot k_{n\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot n}$$

  где S_Σ – полная суммарная мощность преобразователей, $k_{n\Sigma}$ – коэффициент, учитывающий сдвиг по фазе между гармониками разных преобразователей, принимаемый 0.9 для 5-й и 7-й гармоник, 0.75 для 11-й и 13-й гармоник, 1.0 для газоразрядных ламп.

- резкопеременных нелинейных нагрузок типа установок дуговой и контактной сварки [3] по формуле

$$I_{n\Sigma} = \frac{S_\Sigma}{U_{ном} \cdot n^2}$$

  где S_Σ – полная суммарная мощность электросварочных установок;

- дуговых сталеплавильных печей по формуле

$$I_n = \frac{I_{ном.п.т}}{n^2}$$

  где $I_{ном.п.т.}$ – номинальный ток печного трансформатора (для одной печи или по формулам [3] для группы печей) и т.д.

Важно: При ориентировочных расчетах наличие критических гармоник оценивают по справочным данным для конкретной нагрузки, а пассивные фильтры могут проектироваться, как для единичной, так и групп аналогичных по характеру нагрузок с установкой в узлах подключения. Учитывая технические возможности настроенных резонансных фильтров устройства из двух звеньев для 5 и 7 гармоник могут быть эффективными и для подавления гармонических искажений на 9 и 13 гармонике, что следует учитывать при технико-экономическом обосновании проекта.При расчетах пассивных фильтров для подавления гармоник, генерируемых ШИМ преобразователями, учитывают гармонические искажения на частотах вплоть до 19-го порядка для 6-тиимпульсных и до 25-го для 12-импульсных, в ориентировочных расчетах – до 13-го порядка вне зависимости от типа преобразователя, используя упрощенные формулы [2].

Расчет пассивного настроенного фильтра

1. После выявления порядка и амплитуды тока критической гармоники (*по результатам анализа или ориентировочному расчету*) определяются со способом использования пассивного фильтра – будет он использоваться только для фильтрации искажения на резонансной частоте (частотах) или параллельно работать, как компенсатор реактивной мощности на фундаментальной частоте f_1 (50 Гц).

В первом случае находят минимально допустимую установочную реактивную мощность фильтра по формуле

$$Q_{уст}^{\min} = \left(\frac{2}{\sqrt{n}}\right) \cdot \left(\frac{n^2 \cdot U_1 \cdot I_n}{n^2 - 1}\right) \quad [2]$$

но учитывая, что фильтр (или звено) будет генерировать реактивную мощность на фундаментальной частоте

$$Q_1 = \sqrt{\frac{1}{n}} \cdot U_1 \cdot I_n$$

которую следует учесть при проектировании установки компенсации реактивной мощности для этого сегмента сети.

Если фильтр параллельно выполняет функцию компенсации реактивной мощности, то

$$Q_{уст} = Q_1 + Q_n = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot C \cdot \left(\frac{n^2 \cdot U_1}{n^2 - 1}\right)^2 + \frac{I_n^2}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot C \cdot n}$$

Находят емкость фильтра (или звена) из формулы

$$Q_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot C \cdot \left(\frac{n^2 \cdot U_1}{n^2 - 1} \right)^2$$

откуда

$$C = \frac{Q_1}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \left(\frac{n^2 \cdot U_1}{n^2 - 1} \right)^2}$$

2. Находят индуктивность фильтра (или звена) из условий резонанса

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot C} = X_L = 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot L$$

откуда

$$L = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_n^2 \cdot C}$$

Из практических соображений минимизации цены на комплектующие и фильтр в целом находят серийный реактор с индуктивностью, близкой, но не меньше расчетного значения

3. Проводят перерасчет емкости по выбранному реактору из формулы резонанса и далее корректируют значения генерируемой фильтром реактивной мощности, а также определяют потери активной энергии в емкости, индуктивности, сопротивлении фильтра по методике и формулам [2, 3].

Важно: Характеристическое волновое сопротивление $p = X_{L1}/X_{C1} = (f_1 / f_{рез})^{1/2}$ и кроме того, показывает изменение напряжения емкости в контуре при увеличении/уменьшении резонансной частоты $U_c = U_n \cdot (1/(1-p))$. Поскольку емкость зависит и от реального напряжения, и от температуры эксплуатации, то эти показатели учитываются при профессиональном расчете пассивных фильтров во время проектирования.

Активные фильтры гармоник

Активные фильтры гармоник формально классифицируют по типу инвертора силового блока, числу фаз и способу включения, хотя предпочтительным остается параллельное подключение для снижения мощности и, соответственно цены АФГ.

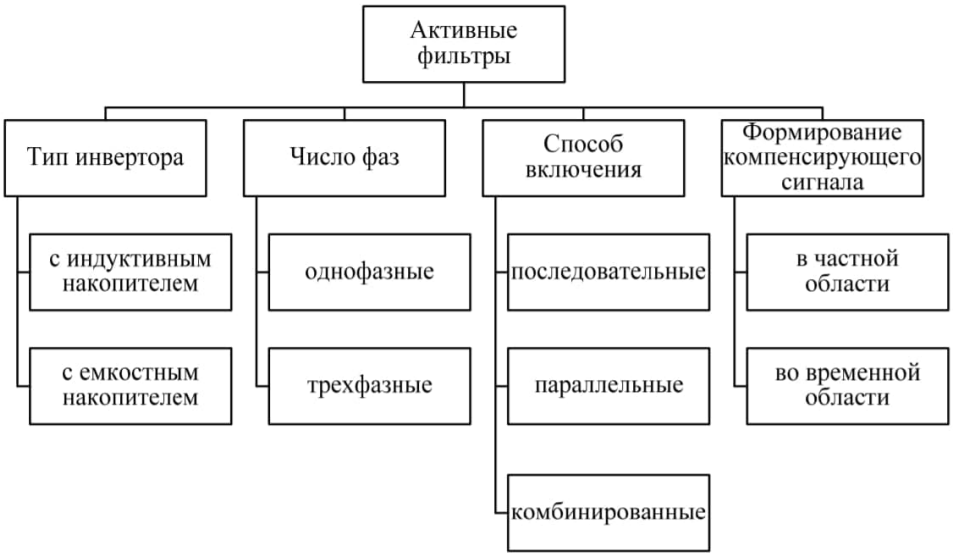


Рис. *Классификация активных фильтров гармоник*

Наряду с этим на рынок поставляются фильтры в виде генераторов реактивной энергии (Static var generator – SVG) и собственно активные фильтры гармоник (Active filter harmonic - AFG), которые идентичны по принципу работы, но SVG ориентированы на компенсацию реактивной мощности на фундаментальной частоте (в некоторых решениях плюс гармоник начальных порядков) и, по сути, являются «урезанной версией AFG, работающих (при соответствующей настройке) с фундаментальной и/или нефундаментальными частотами «на выбор».

Упрощенно любой SVG или AFG – преобразователь-инвертор на биполярных транзисторах с изолированным затвором, причем:

- БТИЗ, выступающие и элементами инвертора, и средством управления, устанавливаются в опрессованном модуле IPM (интеллектуальный силовой модуль или блок);
- именно мощность и количество БТИЗ силового блока в основном определяет цену активного фильтра гармоник.

Важно: На практике AFG поставляются в виде устройства, готового к нивелированию набросатоков и на фундаментальной частоте, и на нефундаментальных частотах (обычно в двух-трех вариантах «пакетов частот»), т.е. вне зависимости от числа настроенных на фильтрацию гармоник на предприятии покупается весь «пакет» БТИЗ. Для снижения цены подбирают АФГ с максимально узким пакетом частот и часто используют гибридную конструкцию из пассивного (одно- или многозвенного) фильтра и АФГ.

Выбор активных фильтров гармоник

Прежде всего при выборе АФКУ для силовой сети объекта следует понимать, что:

- производители выпускают АФКУ для трехфазных трехпроводных, трехфазных четырехпроводных, однофазных сетей, но предварительно в любой трехфазной сети нелинейная нагрузка должна быть максимально возможно равномерно распределена по фазам;
- целесообразность компенсации реактивной мощности, в том числе АФКУ может быть экономической (*см. выше*) и технической, когда риски потерь из-за нарушения производственно-технологического процесса или остановки производства оправдывают любые финансовые вложения;
- АФКУ могут совмещаться с традиционными УКРМ, УКРМТ, нивелируя недо- или перекомпенсации реактивной мощности параллельно с блокированием гармонических искажений;
- АФКУ стоит подбирать по мощности, потом определяя суммарный ток по сетевому напряжению и сравнивая с паспортными данными устройства;
- АФКУ тем дороже, чем больше его мощность, шире частотный диапазон компенсируемых гармоник и меньше время реагирования, т.е. если после полного энергетического анализа сети выявлено, что:

  - нагрузки не генерируют гармоники большой интенсивности в порядках от 25, то лучше выбирать АФКУ с меньшей шириной частотного диапазона компенсации;

  - среди широкого спектра частот интенсивными являются только малое число гармоник, то стоит работать только по этим частотам, причем по возможности для нивелирования гармоник первых порядков использовать пассивные фильтры;

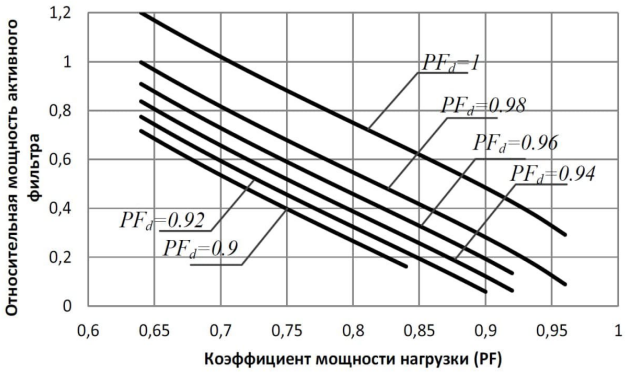
  - нагрузка характеризуется большими значениями Q_1, то стоит просчитать варианты компенсации только УКРМ (или УКРМТ), или только УКРМ+АФКУ, оставляя на долю АФКУ минимальный диапазон компенсации реактивной мощности.

Выбрать можно:

- по формуле

$$\frac{S_C}{P_l} = \sqrt{\frac{1}{PF^2 - 1}} - \sqrt{\frac{1}{PF_d^2 - 1}}$$

- из графической зависимости относительной мощности АФКУ от существующего PF нагрузки;



Здесь видно, что при низких коэффициентах мощности нагрузки отношение S_C / P_l приближается и выше единицы, т.е. АФКУ будет очень мощным и дорогим. В то же время подкорректировать коэффициент мощности от 0.85-09 можно и АФКУ, параллельно работающим по нивелированию токов высших гармоник.

- активной мощности нелинейной нагрузки на фундаментальной частоте (P_l в Вт), существующему коэффициенту мощности нагрузки (PF), коэффициенту нелинейных искажений тока нагрузки THD_I по формуле при:

  - компенсации только токов высших гармоник без реактивной мощности;

$$\frac{S_C}{P_l} = \sqrt{\frac{1}{PF^2 - 1}} - \sqrt{\frac{1}{PF_d^2 - 1}}$$

- только реактивной мощности без токов высших гармоник;

$$S_C = Q_1 = \frac{P_l}{PF} \cdot \sqrt{1 - PF^2 \cdot (1 + THD_I^2)}$$

- мощности приводов постоянного (P_{DC}) и переменного (P_{AC}) тока, коэффициенту искажений питающего напряжения THD_U и желаемому коэффициенту после интеграции АФКУ THD_{U_F} по формуле

$$S_C \approx (0,26 \cdot P_{DC} + 0,318 \cdot P_{AC}) \cdot k$$

коэффициент k выбирается из диаграммы:

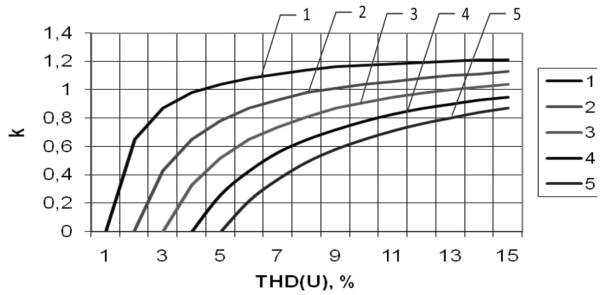


Рис. *Диаграмма выбора коэффициента k по коэффициенту искажений питающего напряжения THD_U и желаемому коэффициенту после интеграции АФКУ THD_{U_F} (кривые 1 – 5 соответственно 1, 2, 3, 4, 5 %);*

- коэффициенту нелинейных искажений тока нагрузки THD_I, желаемому коэффициенту после интеграции АФКУ THD_{I_d}, полной мощности нагрузки S_l без мощности УКРМ (если она установлена) по формуле

$$S_C \approx \frac{1,3 \cdot (THD_I - THD_{I_d})}{\sqrt{1 + THD_I^2}} \cdot S_l$$

Справка: Согласно ГОСТ 32144-2013, значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения электрической сети 0,38 кВ не должно быть более 8%, но согласно IEEE Std 519 этот показатель не может превышать 5%. В свою очередь производители АФКУ и пассивных фильтров оценивают загрязненность сети гармониками по THD_U и THD_I, определяя свои пороги и названия, хотя технически грамотно при оценки уровня искажений пользоваться нормами стандартов, выдержки из которых приведены ниже.

Таблица. *Предельно допустимые значения нелинейных искажений по току THD_I согласно IEEE Std 519.*

$I_{кз}$ / $I_{п.\,макс.}$ по f = 50 Гц	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THDI, %
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 — 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 — 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 — 1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Таблица. *Предельно допустимые значения нелинейных искажений по напряжению THD_U согласно IEEE Std 519*

Напряжение на шинах	Нелинейные искажения по гармоникам, %	THD_U, %
69 кВ и ниже	3	5

Таблица. *Уровни электромагнитной совместимости для суммарного коэффициента гармоник по IEC 61000-2-4*

Класс искажений	Класс 1 (слабые)	Класс 2 (средние)	Класс 3 (значительные)
Суммарный коэффициент гармоник	5%	8%	10%

Таблица. *Предельно допустимые значения нелинейных искажений по току THD_I согласно IEEE Std 519.*

Вид помехи	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Допустимое Un: ΔU/Uном	± 8%	± 10%	От +10% до -15%
Асимметрия напряжения Uотр/Uпол	2%	2%	3%
Отклонение промышленной частоты Δf	± 1Гц	± 1Гц	± 1Гц

Продукция серий AccuSine+ предназначена для решения широкого спектра задач при повышении качества электроэнергии.

AccuSine PFV+ является простым и эффективным средством для коррекции коэффициента мощности, снижения перепадов напряжения, увеличения срока эксплуатации оборудования и повышения пропускной способности системы. AccuSine PFV+ является универсальным устройством для повышения качества электроэнергии и позволяет снизить затраты на приобретение дополнительного оборудования. Система управления AccuSine PFV+ позволяет осуществлять компенсацию реактивной мощности без риска возникновения резонансов в сети.

AccuSine PCSn – это гибкие, высокопроизводительные, экономически эффективные технические решения для стабилизации работы электрической сети посредством подавления гармоник, коррекции коэффициента мощности и симметрирования токов нагрузки.

AccuSine PCSn, AccuSine PCS+ и AccuSine PFV+ помогут сократить капитальные и эксплуатационные расходы.

Они позволяют:

- снизить содержание гармонических составляющих;
- повысить коэффициент мощности;
- симметировать напряжения (что особенно важно при питании электродвигателей);
- стабилизировать напряжения;
- снизить дозу фликера.
- AccuSine PCSn, AccuSine PCS+ и AccuSine PFV+ помогают сократить выброс CO2.

Качество и эффективность

Все наши решения для повышения качества электроэнергии обеспечивают высочайшую окупаемость инвестиций, поскольку они разработаны и изготовлены компанией Schneider Electric с использованием передовых производственных технологий и материалов. Они оптимизированы в соответствии с потребностями Вашего предприятия и разработаны для обеспечения высокой производительности.

Таблица. *Основные функции*

	Компенсация гармоник в нейтрали	Компенсация гармонических составляющих фазных токов	Повышение cosφ	Симметрирование фазных токов	Стабилизация напряжения посредством регулирования реактивной мощности	Фликер
AccuSine PCSn	●	●	до 1.0	●		
AccuSine PCS+		●	до 1.0	●		
AccuSine PFV+			до 1.0	●	●	●

Таблица. *Области применения решений для фильтрации гармоник*

	AccuSine PCSn	AccuSine PCS+	AccuSine PFV+
Торговые центры и коммерческие здания	Офисные нагрузки, светодиодные / люминисцентное освещение, эскалаторы, лифты	Все типы нагрузок системы вентиляции и кондиционирования	
Здравоохранение	Офисные нагрузки, светодиодные / люминисцентное освещение, мед. оборудование, эскалаторы, лифты	Все типы нагрузок системы вентиляции и кондиционирования и насосы	
Водоснабжение и водоотведение		Насосы и вентиляция с / без резервного генератора	
Пищевая промышленность	Технологические и производственные линии	Технологические и производственные линии. Системы вентиляции и кондиционирования	
Автомобилестроение		Технологические и производственные линии.	КРМ для сетей с высоким содержанием гармоник и снижения дозы фликера (в динамических режимах)
Метталургия		Обработка и нагрев	
Нефтехимия		Технологические насосы	КРМ для сетей с высоким содержанием гармоник с быстроменяющейся нагрузкой
Силикатная промышленность		Обработка и нагрев	
Производство полупроводников		Обработка, нагрев, производственные линии, насосы и системы вентиляции	
Текстильная промышленность	Офисные нагрузки, светодиодное / люминисцентное освещение		
Подъемники / Парки развлечений		Кресельные подъемники, коррекция КМ	Снижение дозы фликера, динамическая компенсация реактивной мощности
Судоходство		Движители, насосы и вентиляция (управляемые частотными преобразователями)	Динамическая КРМ для повышения эффективности пускового двигателя
Аэропорт	Офисные нагрузки, светодиодное / люминисцентное освещ., линии выдачи багажа, эскалаторы, система управл. посадочн. огнями, навигационные приборы	Система управления посадочными огнями, насосы и вентиляция, HVAC, с/без резервного генератора	
ЖД и тоннели	HVAC, офисные нагрузки, сведодиодное/люминисцентное освещение	Насосы и вентиляция	Симметрирование нагрузки тяговых подстанций, коррекция КМ, поддержка компенсации реактивной мощности
Нефть и газ		Бурение, транспортировка, производство	Динамическая КРМ для повышения эффективности пускового двигателя
ЦОДы	ИТ-нагрузки и импульсные источники питания блейд-серверов	ИТ-нагрузки, системы охлаждения и все типы нагрузок системы вентиляции и кондиционирования	Компенсация ёмкостного КМ (для резервных генераторов и ИБП)
Солнечная энергетика		Солнечные зеркала (управляемые частотными преобразователями)	Поддержка напряжения путем генерации реактивной мощности (с или без трансформаторов тока)
Ветроэнергетика		Преобразователи напряжения	Гибридная компенсация реактивной мощности (с трансформаторами тока)

Технические характеристики AccuSine PCSn

AccuSine_PCSn.psd

AccuSine PCSn RM.png

Таблица. *Номинальные параметры*

Действующее значение выходного тока	Модули для установки в распределительных шкафах, IP00: 20, 30, 50, 60 A Модули настенного монтажа: 20, 30, 50, 60 A Модули для монтажа в стойке 19”: 30, 60 A
Номинальное напряжение	208–415 В пер. тока, -15%/+10%
Номинальная частота	50/60 Гц ± 3 Гц, автоопределение
Тип подключения	3L+PE, 3L+N+PE
Тип компенсации	3 фазы или 3 фазы + нейтраль
Системы заземления	TT, TN-C, TN-S, TN-C-S, IT, система с заземлением в угловой точке треугольника, система с заземлением в средней точке треугольника, система с высокоомным заземлением (HRG)
Искажение напряжения в сети	Макс. 20% (до 30-го порядка)
Предельные значения провала напряжения	Глубина провала: 10%, зона провала (AN): 13,667 В мкс при 400 В согласно IEEE 519-2014, приложение C

Таблица. *Основные характеристики*

Тип инвертора	3-уровневый БТИЗ (IGBT)
Система управления	Цифровая реализация БПФ (1) Цифровое управление реактивной мощностью
Эффективность и потери	400–415 В пер. тока ≥ 97% 3-фазная компенсация: ≤ 20,4 Вт/А 3-фазная компенсация + нейтраль: ≤ 22,6 Вт/А
Трансформаторы тока (ТТ)	Любой коэффициент преобразования с током вторичной обмотки 1 или 5 А Класс точности 1.0 Частота 50/60 или номинальная частота 400 Гц (с соответствующим классом точности и лучше) Заземленные; один комплект может использоваться для нескольких фильтров
ТТ, В·А-нагрузка	1 А: 0,04 В·А 5 А: 1 В·А
Количество ТТ	2 или 3 ТТ для 3-фазных нагрузок 3 ТТ для четырехпроводных систем
Тип управления	Система с обратной связью или без обратной связи
Фильтрация гармоник	Выборочное подавление гармоник со 2-й по 51-ю (можно ограничивать амплитуду гармоники или отключать ее полностью)
Режимы работы	Несколько режимов одновременно или только один режим: - фильтрация гармонических составляющих фазных токов; - фильтрация гармоник в нейтрали с регулируемой уставкой до 3-кратного номинального значения тока фильтра; - коррекция коэффициента мощности (cos j); - симметрирование фазных токов

Таблица. *Основные характеристики*

Рабочие характеристики	Уставка % THDi Уставка % THDv Уставка целевого КМ (cosφ)
Содержание высших гармоник в сети	В системе с обратной связью: THDi<3%. Максимальное снижение THDi для нагрузок с содержанием гармонических составляющих более 50% от ном. тока фильтра 20:1
Коррекция коэффициента мощности	Генерация опережающего (емкостного) или запаздывающего (индуктивного) тока для получения заданного значения (cosφ)
Симметрирование фазных токов	Компенсация токов обратной и(или) нулевой последовательностей
Защита от резонанса	Подавление гармонических составляющих отключается в случае обнаружения резонанса или недостатка импеданса (включение\отключение фильтрации гармоник можно задать вручную)

Таблица. *Характеристики при параллельной работе*

Масштабируемость и возможность расширения	Возможна параллельная работа до 12 блоков различной мощности с одним комплектом трансформаторов тока (макс. n-ый порядок в зависимости от характеристик сети)
Конфигурации при параллельной работе	Ведущий/ведомый, мультиведущий, мультиведущий/мультиведомый (подключение ТТ к ведущим блокам) Основные (ведущие) блоки: 20, 30, 50, 60 А Вспомогательные блоки (только ведомые – без подключения ТТ): 60 А
Параллельная архитектура	Распределенное дублирование без независимого контроллера
Опции параллельной последовательности	Распределение нагрузки: все блоки работают с одинаковой загрузкой Каскадная: опереж./отстающ. с чередованием блоков: один блок работает на полную мощность, пока следующий его не сменит; чередование по времени
Назначение идентификатора блока	Возможность автоматического параллельного назначения идентификатора или ручной установки
Функции резервирования при параллельной работе	Любой блок, подключенный к ТТ, автоматически становится ведущим при отключении управляющего ведущего Автоматическое увеличение выходного тока всех блоков в случае отключения одного из параллельных блоков
Параллельное управление через ЧМИ	Основной блок позволяет просматривать и изменять настройки параметров всей системы или любого другого блока в системе, подключенного параллельно

Таблица. *Механические и установочные характеристики*

Монтаж	В помещении Вертикальный: монтаж в распределительных шкафах и настенное крепление. Горизонтальный: крепление в 19" стойке Возможность напольного монтажа при использовании шасси
Защита от загрязнений	Монтаж в распред. шкафах: IP00. Настенное крепление: IP20. В стойке: IP20
Защита модулей на печатных платах	Конформное покрытие на всех электронных модулях платы. Степень загрязнения 2
Защита электрических цепей	Аппараты защиты в комплект поставки не входят (дополнительную информацию см. в инструкции по монтажу AccuSine PCSn) Рекомендуемая защита от утечки на землю: 500 мА
Кабельный ввод	Блоки для монтажа в распределительных шкафах (IP00) и блоки настенного крепления: кабельный ввод снизу и настенное крепление: нижний ввод Блоки для крепления в стойке: кабельный ввод спереди
Система охлаждения	Устройства принудительной вентиляции с регулируемой скоростью. Огнеупорная камера. Расход воздуха: 560 м3/ч Блоки для монтажа в распределительных шкафах (IP00) и блоки настенного крепления: воздушный поток идет снизу вверх Блоки для крепления в стойке: воздушный поток идет от передней части к задней Не допускается наличие в воздухе проводящих частиц и коррозионных газов

Таблица. *Управление и каналы обмена данными*

Связь между блоками при параллельной работе	Собственная коммуникационная шина между работающими блоками (для разъемов RJ-45 требуется экранированный кабель CAT5e или выше)
Время отклика управления	40–60 мкс (стандартное значение)
Время на коррекцию подавления гармоник	≤ 2 периода
Время на коррекцию реактивной мощности	≤ 1/2 периода
Протоколы связи	Основные блоки: Modbus RTU и Modbus TCP/IP Вспомогательные блоки: Modbus RTU
Дискретные входы/выходы	4 входных и 4 выходных контакта, назначаемые

Таблица. *Стандарты и сертификаты*

Использованные нормативные документы	МЭК 62477-1; МЭК 61439-1; EN 61000-6-2; EN 61000-6-4, класс A; ISO 9001; стандарт IEEE 519-2014
Соответствие ЭМС	EN 61000-6-4, класс A (эмиссия); EN 61000-6-2 (помехоустойчивость)
Сейсмическая аттестация	IBC 2015, ICC-ES AC156 (SDS = 2,47 g)
Сертификация продукции	Имеет маркировку CE, RCM, EAC, RoHS, IBC

Таблица. *Механические и установочные характеристики*

Уровень шума	63 дБ (A) (стандартное значение)
Размеры (В x Ш x Г), мм	Блоки для монтажа в распределительных шкафах (IP00) и блоки настенного крепления: 960 x 440 x 265 мм
Цвет и материал	Корпус из оцинкованной стали Дверца с креплением на стену и передняя решетка с креплением в стойке со светло-серым порошковым покрытием RAL 7035

Таблица. *Условия эксплуатации*

Рабочая температура	От 0 до 45 °C (полная производительность, непрерывная работа без снижения мощности)
Относительная влажность	0–95%, без образования конденсата
Рабочая высота	1000 м (полная производительность, непрерывный режим работы) Снижение номинального тока на 1% за каждые 100 м при увеличении высоты свыше 1000 м При высоте более 3000 м требуется прочное основание Абсолютное максимальное значение высоты: 4800 м
Защита по превышению температуры окружающей среды	Автоматическая защита по перегреву БТИЗ (IGBT) Полное отключение при достижении температуры входного воздуха +51 °C
Ограничение выходного тока (действующее значение)	Программная уставка по ограничение выходного тока: в зависимости от высоты или температуры окружающей среды выходной ток устройства ограничивается
Хранение (в оригинальной транспортной упаковке)	Температура: от -20 до 60 °C, относительная влажность: до 95%, без образования конденсата, хранить в чистом сухом защищенном помещении. Не допускается наличие проводящих частиц
Уровни загрязненности – эксплуатация (МЭК 60721-3-3)	Химический класс 3C2, механический класс 3S2 Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе
Уровни загрязненности – транспортировка и хранение (МЭК 60721-3-3)	Химический класс 3C3, механический класс 3S3 (при хранении в оригинальной транспортной таре) Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе

Таблица. *ЧМИ и служебные средства*

Дисплей	Magelis STU ЧМИ с цветным сенсорным экраном высокой четкости TFT QVGA 64 k
Графический терминал	Блоки для монтажа в распределительных шкафах (IP00): 144 мм (5,7") поставляется для отдельной установки Блоки настенного крепления: 144 мм (5,7") Блоки для крепления в стойке 19”: 90 мм (3,5") Вспомогательные блоки: ЧМИ не требуется
Интерфейс пользователя	Вывод открытым (не зашифрованным) текстом Языки меню: русский, английский, французский, испанский, португальский, китайский и корейский
Служебный порт	2 порта USB для обновления встроенного ПО, файла диагностики и загрузки журнала событий, подключения к ПК Возможность загрузки диагностики через ПК даже при отсутствии питания
Ввод в эксплуатацию	Встроенный пошаговый протокол ввода в эксплуатацию через ЧМИ Загрузка встроенного пошагового отчета о вводе в эксплуатацию – дополнительное программное обеспечения не требуется Автоматическая калибровка ТТ, определение и коррекция полярности Отсутствие восприимчивости к последовательности чередования фаз Автоматическая проверка соединения нейтрали

Таблица. *Функциональная совместимость и интеграция*

Напольные шкафы	Монтаж модуля в распределительных шкафах при соблюдении требований к вентиляции воздуха
Стойки 19"	Установка в стойки 19"при соблюдении требований к плотности на стойку
Системная интеграция	Совместимость с архитектурой EcoStruxure™ Power Стандартный драйвер для PME 8.2 и PME 9.0 Совместная работа с фильтрами AccuSine PCS+\PFV+ Возможность интеграции со сторонними решениями EPMS/SCADA через карту Modbus

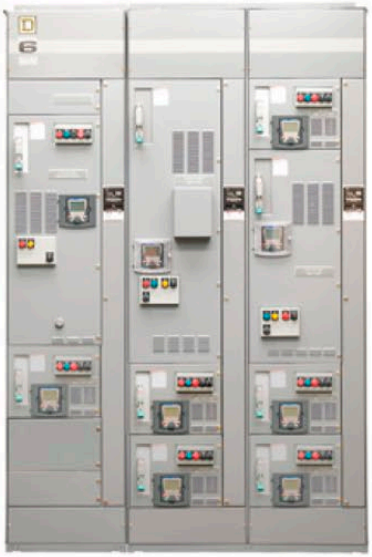
Таблица выбора. AccuSine PCSn 208–415 В, 50/60 Гц

Iном. (А)	Iном. нейтрали (А)	Ном. кВАр при 415 В	№ по каталогу	Степень защиты	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
20	60	14	PCSN020Y4CH00	IP00	Монтаж в распред. шкафах	960×440×265	61
30	90	22	PCSN030Y4CH00	IP00		960×440×265	
50	150	36	PCSN050Y4CH00	IP00		960×440×265	75
60	180	43	PCSN060Y4CH00	IP00		960×440×265	
60	180	43	PCSN060Y4CH00E	IP00		960×440×265	
20	60	14	PCSN020Y4W20	IP20	Монтаж на стену	960×440×265	61
30	90	22	PCSN030Y4W20	IP20		960×440×265	
50	150	36	PCSN050Y4W20	IP20		960×440×265	75
60	180	43	PCSN060Y4W20	IP20		960×440×265	
60	180	43	PCSN060Y4W20E	IP20		960×440×265	
30	90	22	PCSN030Y4R19	IP20	Монтаж в стойке 19"	265×440×960	61
60	180	43	PCSN060Y4R19	IP20		265×440×960	75
60	180	43	PCSN060Y4R19E	IP20		265×440×960	

Технические характеристики AccuSine PCS+

PB502824_R.eps

PB115718.eps



PD405100.eps

Таблица. *Номинальные параметры*

Действующее значение выходного тока	60, 120, 200, 300 А при 380–480 В пер. тока 40, 80, 133, 200 А при 600–690 В пер. тока

Таблица. *Параметры сети*

Номинальное напряжение	380-480 В пер. тока + 10% / -15% 600-690 В пер. тока + 10% / -15%
Номинальная частота	50/60 Гц ±3 Гц, автоопределение
Тип подключения	Трехфазное трехпроводное

Таблица. *Основные характеристики*

Система управления	Цифровая реализация БПФ Цифровое управление реактивной мощностью
КПД	До 480 В пер. тока >97%, до 690 В пер. тока >95%
Трансформаторы тока (ТТ)	Любой коэффициент преобразования с током вторичной обмотки 1 или 5 А Класс точности 1 Частота 50/60 или 400 Гц (с соответствующим классом точности и лучше) Заземленные Один комплект может использоваться для нескольких блоков
Нагрузка для вторичных обмоток ТТ	40 мОм
Количество ТТ	2 или 3 для 3-фазных нагрузок 3 требуются для четырехпроводных систем
Фильтрация гармоник	Выборочное подавление гармоник со 2-й по 51-ю (можно ограничивать амплитуду гармоники или подавлять ее полностью)
Тип управления	Для новых устройств используется управление с обратной связью Возможна работа без обратной связи (совместимы с AccuSine PCS при ретрофите)
Положение ТТ	В системе с обратной связью: на шинах со стороны источника или на шинах со стороны нагрузки для единичного блока В системе без обратной связи: на шинах со стороны нагрузки или шинах со стороны источника для единичного блока
Содержание высших гармоник в токе сети	В системе с обратной связью: THDi < 3%. Максимальное снижение THDi для нагрузок с содержанием гармонических составляющих более 50% от ном. тока AccuSine PCS+: 20:1 В системе без обратной связи: TDD <5% Для работы системы необходим импеданс фильтрующего дросселя 3% и более от импеданса нелинейной нагрузки
Особенности фильтрации гармоник	Уставка% THDi Уставка% THDv Уставка целевого КМ (cosφ)

Таблица. *Основные характеристики*

Защита от резонанса	Подавление гармонической составляющей отключается в случае обнаружения резонанса или недостатка импеданса (включение/отключение фильтрации гармонической компоненты можно задавать вручную)
Параллельная работа	Возможна параллельная работа до 10 блоков различной мощности с одним комплектом трансформаторов тока (фильтруются гармоники до 51-й) Обратная совместимость с AccuSine PCS при параллельной работе Обращайтесь в Schneider Electric, если ваше применение требует более 10 блоков
Конфигурации при параллельной работе блоков	Master/Master (ведущий/ведущий) (ведущий блок подключается к ТТ) Master/Slave (ведущий/ведомый) Multi-Master/Multi-Slave (несколько ведущих/ведомых) В случае ретрофита полностью повторяется конфигурация устройств AccuSine PCS
Режим параллельной работы	Каскадная: опереж./отстающ. с чередованием блоков: один блок работает на полную мощность, пока следующий его не сменит; чередование по времени Распределение нагрузки: все блоки работают с одинаковой загрузкой
Функции резервирования при параллельной работе	Любой блок, подключенный к ТТ, автоматически становится ведущим, при отключении управляющего ведущего Автоматическое увеличение выходного тока всех блоков в случае отключения одного из параллельных блоков
Функции настройки при параллельной работе	Каждый блок позволяет просматривать и изменять настройки параметров всей системы или любого другого блока в системе, подключенного параллельно
Обмен информации между блоками при параллел. работе	Запатентованная COM-шина между работающими блоками
Коррекция коэффициента мощности	Оптимальная коррекция коэффициента мощности. Генерация опережающего (емкостного) или запаздывающего (индуктивного) тока для получения заданного значения (cosφ)
Время отклика управления	25 мкс
Время на подавление высших гармоник	2 периода
Время на коррекцию реактивной мощности	1/4 периода
Дисплей	144 мм, QVGA TFT, 64000 цветов
ЧМИ	Графический терминал Magelis STU с сенсорным дисплеем
Отображаемые параметры	THDi, THDv, осциллограммы большинства измеренных величин, векторные диаграммы, мощность нагрузки, измеренные значения токов Iгарм., Iсети, Iреакт., Iпрям., Iобр., cos j, генерируемые токи Iгарм., Iреакт., Iпрям., Iобр. и т.д
Протоколы связи	Modbus RTU, Modbus TCP/IP
Дискретные входы/выходы	4 входных и 4 выходных сухих контакта, назначаемые
Акустический шум (ISO3746)	< 70 дБ на расстоянии одного метра от поверхности блока
Система заземления	Совместимость с большинством систем заземления Переключатель на помехоподавляющем фильтре для системы IT, системы с высокоомным заземлением или заземлением угловой точки треугольника

Таблица. *Условия эксплуатации*

Рабочая температура	60, 120 и 200 А; IP00 и IP20: от 0 до 45 °С. Для других исполнений: от 0 до 40 °С Снижение номинального тока на 2% за каждый 1 °С при увеличении температуры свыше 50 °С
Относительная влажность	0-95%, без образования конденсата
Сейсмическая аттестация	Отвечает требованиям IBC и ASCE7 (требуется анкерное крепление для всех блоков в напольном исполнении)
Рабочая высота	1000 м (снижение номинального тока на 1% за каждые 100 м при увеличении высоты свыше 1000 м)
Защита по превышению температуры окр. среды	Автоматическое токоограничение при перегреве одного из приборов. Полное отключение при достижении температуры входного воздуха 51 °С
Ограничение выходного тока (действующее значение)	Программная уставка по ограничение выходного тока: в зависимости от высоты или температуры окружающей среды выходной ток устройства ограничивается
Хранение (в оригинальной транспортной упаковке)	Температура: от -20 до 60 °С Относительная влажность: до 95%, без образования конденсата Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе
Уровни загрязненности – эксплуатация (МЭК 60721-3-3)	Химический класс 3С2 Механический класс 3S2 Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе
Уровни загрязненности – транспортировка и хранение (МЭК 60721-3-3)	Химический класс 3С3 Механический класс 3S3 При хранении в оригинальной транспортной упаковке Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе

Таблица. *Стандарты*

Конструкция	Европейский сертификат соответствия МЭК/EN 60439-1; EN 61000-6-4, класс А; EN 61000-6-2
Степень защиты оболочки	IP00; IP20; IP31; IP54
Сертификаты и маркировка	cULus (UL508 , CSA 22.2 № 14) Маркировка CE, сертификат ABS и другие

Таблица. *Монтаж*

Настенное исполнение	IP00, IP20
Напольное исполнение	IP31, IP54
Защита электрических цепей	Настенные шкафы (в исполнении IP00 и IP20) – вводные автоматические выключатели, в комплект не входят. Напольные шкафы – вводные автоматические выключатели или выключатели-предохранители, централизованная система механической блокировки замков дверей
Номинальная отключающая способность автоматического выключателя (А)	До 240 В пер. тока – 200 кА cULus, 150 кА, МЭК До 415 В пер. тока – 200 кА cULus, 125 кА, МЭК До 480 В пер. тока – 200 кА cULus, 75 кА, МЭК До 600 В пер. тока – 100 кА cULus, 20 кА, МЭК До 690 В пер. тока – нет cULus, 100 кА, МЭК
Кабельный ввод	Настенные шкафы: IP00, IP20 – только снизу Напольные шкафы: ввод сверху и снизу через сменные пластины для кабельных вводов
Защита модулей на печатных платах	Конформное покрытие (всех модулей на печатных платах)Степень загрязнения 2
Система охлаждения	Разделенные возд. потоки для охлаждения силовой части и охлаждения системы управления. Ввод возд. потока на охлаждение силовой части – снизу, выход – сверху. Все элементы силовой части имеют степень защиты IP54 или выше (доп. фильтр воздуха не требуется). Возд. поток для системы управления должен быть сухим и не содержать загрязняющих частиц (требуетсядополнительная фильтрация воздуха). Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе

Таблица. *Средства настройки*

Графический терминал Magelis STU	Вывод открытым (не зашифрованным) текстом Языки меню: английский, французский, испанский, португальский и китайский USB-порт для загрузки нового ПО и выгрузки данных оперативного учета
Служебный порт	USB-порт: ввод в эксплуатацию, программирование или диагностика через ноутбук, при наличии/отсутствии питания; ноутбук обеспечивает плату питанием, когда питание на блоке отсутствует
Ввод в эксплуатацию	Встроенная пошаговая инструкция; автоматическая калибровка трансформаторов тока, определение порядка чередования фаз и полярности; задание коэффициента преобразования внешнего трансформатора и сдвига фаз (коэффициент мощности); тепловая проверка и т.д.

Таблица выбора. AccuSine PCS+ 380-480 В, 50/60 Гц

Iном. (А)	Qном. (кВАр) при U(В)	№ по каталогу	Степень защиты	Тип монтажа	Кабельный ввод	Типоразмер	Масса, кг
60	39,5 при 380 41,6 при 400 43,1 при 415 49,9 при 480	PCSP060D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1300×421×349	88
		PCSP060D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×800×500	277
		PCSP060D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×800×500	291
120	79,0 при 380 83,1 при 400 86,3 при 415 99,8 при 480	PCSP120D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1400×421×384	113
		PCSP120D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×800×500	279
		PCSP120D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×800×500	293
200	131,6 при 380 138,6 при 400 143,8 при 415 166,3 при 480	PCSP200D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1323×582×438	171
		PCSP200D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×900×600	384
		PCSP200D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×900×600	402
300	197,5 при 380 207,8 при 400 215,6 при 415 249,4 при 480	PCSP300D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1560×582×438	210
		PCSP300D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×900×600	422
		PCSP300D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×900×600	436

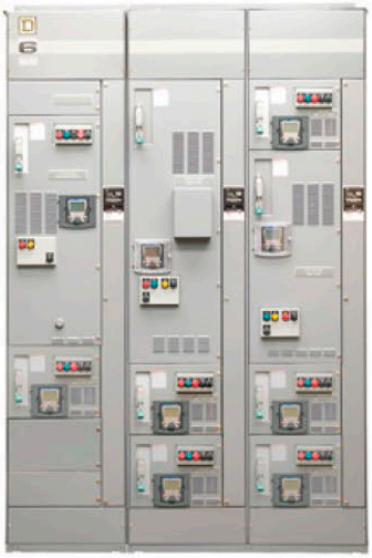
Таблица выбора. AccuSine PCS+ 600-690 В, 50/60 Гц

Iном. (А)	Qном. (кВАр) при U(В)	№ по каталогу	Степень защиты	Тип монтажа	Кабельный ввод	Типоразмер	Масса, кг
40	47,8 при 690	PCSP040D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×1400×600	483
		PCSP040D7IP54	IP54				
80	95,6 при 690	PCSP080D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×1400×600	533
		PCSP080D7IP54	IP54				
133	159,0 при 690	PCSP133D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2000×800×600	709
		PCSP133D7IP54	IP54				
200	239,0 при 690	PCSP200D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2000×800×600	827
		PCSP200D7IP54	IP54				

Технические характеристики AccuSine PFV+

PB502825_R.eps

PB115718.eps



PD405100.eps

Таблица. *Номинальные параметры*

Действующее значение выходного тока	60, 120, 200, 300 А при 380–480 В пер. тока 40, 80, 133, 200 А при 600–690 В пер. тока

Таблица. *Параметры сети*

Номинальное напряжение	380-480 В пер. тока + 10% / -15% 600-690 В пер. тока + 10% / -15%
Номинальная частота	50/60 Гц ±3 Гц, автоопределение
Тип подключения	Трехфазное трехпроводное
Работа с однофазными нагрузками	Да, не влияет на ток нейтрали

Таблица. *Основные характеристики*

Тип инвертора	3-уровневый БТИЗ (IGBT)
Система управления	Цифровая, отклик каждую 1/4 периода
Потери	При 480 В пер. тока < 3%; при 690 В пер. тока < 5%
КПД	До 480 В пер. тока > 97%; до 690 В пер. тока > 95%
Трансформаторы тока (ТТ)	Любой коэффициент преобразования с током вторичной обмотки 1 или 5 А Класс точности 1 Частота 50/60 или 400 Гц (с соответствующим классом точности и лучше) Заземленные Один комплект может использоваться для нескольких блоков
Количество ТТ	2 или 3 для 3-фазных нагрузок 3 для четырехпроводных систем
Нагрузка для вторичных обмоток ТТ	40 мОм
Тип управления	Для новых установок используется управление с обратной связью Возможна работа без обратной связи (при ретрофите)
Положение ТТ	В системе с обратной связью: на шинах со стороны источника или на шинах со стороны нагрузки для единичного блока. В системе без обратной связи: на шинах со стороны нагрузки или шинах со стороны источника для единичного блока
Параллельная работа	Возможна параллельная работа до 10 блоков различной мощности с одним комплектом трансформаторов тока (подавление гармоник до 51-й) Обратная совместимость с AccuSine PFV при параллельной работе Обращайтесь в Schneider Electric, если ваше применение требует более 10 блоков
Конфигурации при параллельной работе блоков	Master/Master (ведущий/ведущий) (ведущий блок подключается к ТТ). Master/Slave (ведущий/ведомый). Multi-Master/Multi-Slave (несколько ведущих/ведомых). В случае ретрофита полностью повторяется конфигурация устройств AccuSine PCS

Таблица. *Основные характеристики*

Режим параллельной работы	Каскадная: опереж./отстающ. с чередованием блоков: один блок работает на полную мощность, пока следующий его не сменит; чередование по времени Распределение нагрузки: все блоки работают с одинаковой загрузкой
Функции резервирования при параллельной работе	Любой блок, подключенный к ТТ, автоматически становится ведущим, при отключении управляющего ведущего. Автоматическое увеличение выходного тока всех блоков в случае отключения одного из параллельных блоков
Функции настройки при параллельной работе	Каждый блок позволяет просматривать и изменять настройки параметров всей системы или любого другого блока в системе, подключенного параллельно
Коррекция коэффициента мощности	Оптимальная коррекция коэффициента мощности. Генерация опережающего (емкостного) или запаздывающего (индуктивного) тока для получения заданного значения cosφ
Симметрирование токов сети	Симметрирование токов сети за счет генерации тока обратной последовательности при несимметричной нагрузке (повышение cosφ)
Стабилизация напряжения	Стабилизация напряжения посредствам регулирования реактивной мощности Стабилизация напряжения осуществляется за счет генерации емкостного (для повышения напряжения) или индуктивного (для понижения напряжения) тока
Время отклика управл.	25 мкс
Время на коррекцию реактивной мощности	1/4 периода
Дисплей	145 мм, QVGA TFT 7 – цветный сенсорный экран
ЧМИ	Графический терминал Magelis STU с сенсорным дисплеем
Отображаемые параметры	THDi, THDv, осциллограммы большинства измеренных величин, векторные диаграммы, мощность нагрузки, измеренные значения токов Iгарм., Iсети, Iреакт., Iпрям., Iобр., cosφ, генерируемые токи Iгарм., Iреакт., Iпрям., Iобр. и т.д.
Протоколы связи	Modbus RTU, Modbus TCP/IP
Дискретный вход/выход	4 входных и 4 выходных сухих контакта, назначаемые
Акустический шум (ISO3746)	< 75 дБ на расстоянии одного метра от поверхности блока
Цвет	RAL7035 – оболочка, RAL7022 – цоколь (блоки напольного монтажа)
Система заземления	Совместимость с большинством систем заземления Переключатель на помехоподавляющем фильтре для системы IT, системы с высокоомным заземлением

Таблица. *Условия эксплуатации*

Рабочая температура	60, 120 и 200 А; IP00 и IP20: от 0 до 45 °С .Для других исполнений: от 0 до 40 °С. Снижение номинального тока на 2% за каждый 1 °С, при увеличении t свыше 50 °С
Относит. влажность	0-95%, без образования конденсата
Сейсмическая аттестация	Отвечает требованиям IBC и ASCE7 (требуется анкерное крепление для всех моделей с напольной установкой)
Рабочая высота	1000 м (снижение номинального тока на 1% за каждые 100 м при увеличении высоты свыше 1000 м)
Защита по превышению t окружающей среды	Автоматическое токоограничение при перегреве одного из приборов. Полное отключение при достижении температуры входного воздуха 51 °С
Ограничение выходного тока	Программная уставка по ограничение выходного тока: в зависимости от высоты или температуры окружающей среды выходной ток устройства ограничивается
Хранение (в оригинальной упаковке)	Температура: от -20 до 60 °С. Относительная влажность: до 95%, без образования конденсата. Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе
Уровни загрязненности – эксплуатация (МЭК 60721-3-3)	Химический класс 3С2 Механический класс 3S2 Не допускается наличие проводящих частиц
Уровни загрязненности – транспортировка и хранение (МЭК 60721-3-3)	Химический класс 3С3 Механический класс 3S3 При хранении в оригинальной транспортной упаковке Не допускается наличие проводящих частиц

Таблица. *Стандарты*

Конструкция	Европейский сертификат соответствия МЭК/EN 60439-1; EN 61000-6-4, класс A; EN 61000-6-2
Степень защиты оболочки	IP31; IP54
Сертификаты и маркировка	cULus (UL508, CSA 22.2 № 14) Маркировка CE, сертификат ABS и другие

Таблица. *Монтаж*

Настенное исполнение	IP00, IP20
Напольное исполнение	IP00; IP54
Защита электрических цепей	Настенные шкафы (в исполнении IP00 и IP20) – вводные автоматические выключатели, в комплект не входят. Напольные шкафы – вводные автоматические выключатели или выключатели-предохранители, централизованная система механической блокировки замков дверей
Номинальная отключающая способность автоматического выключателя (A)	До 240 В пер. тока – 200 кА cULus, 150 кА, МЭК До 415 В пер. тока – 200 кА cULus, 125 кА, МЭК До 480 В пер. тока – 200 кА cULus, 75 кА, МЭК До 600 В пер. тока – 100 кА cULus, 20 кА, МЭК До 690 В пер. тока – нет cULus, 100 кА, МЭК
Кабельный ввод	Настенные шкафы: IP00 и IP20 – только снизу Напольные шкафы: ввод снизу и сверху через фланш-панели
Защита модулей на печатных платах	Конформное покрытие на всех электронных модулях платы
Система охлаждения	Разделенные воздушные потоки для охлаждения силовой части и охлаждения системы управления Ввод воздушного потока на охлаждение силовой части – снизу, выход – сверху Все элементы силовой части имеют степень защиты IP54 или выше (доп. фильтрация воздуха не требуется) Воздушный поток для системы управления должен быть сухим и не содержать загрязняющих частиц (требуется дополнительная фильтрация воздуха) Не допускается наличие проводящих частиц в воздухе

Таблица. *Средства настройки*

Графический терминал Magelis STU	Вывод открытым (не зашифрованным) текстом Языки меню: английский, французский, испанский, португальский и китайский USB-порт для загрузки нового ПО и выгрузки данных оперативного учета
Служебный порт	USB-порт: ввод в эксплуатацию, программирование или диагностика через ноутбук, при наличии/отсутствии питания; ноутбук обеспечивает плату питанием, когда питание на блоке отсутствует
Ввод в эксплуатацию	Встроенная пошаговая инструкция; автоматическая калибровка трансформаторов тока, определение порядка чередования фаз и полярности; задание коэффициента преобразования внешнего трансформатора и сдвига фаз (коэффициент мощности); тепловая проверка и т.д.

Таблица выбора. AccuSine PFV+ 380-480 В, 50/60 Гц

Iном. (А)	Qном. (кВАр) при U(В)	№ по каталогу	Степень защиты	Тип монтажа	Кабельный ввод	Типоразмер	Масса, кг
60	39,5 при 380 41,6 при 400 43,1 при 415 49,9 при 480	EVCP060D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1300×421×349	88
		EVCP060D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×800×500	277
		EVCP060D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×800×500	291
120	79,0 при 380 83,1 при 400 86,3 при 415 99,8 при 480	EVCP120D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1400×421×384	113
		EVCP120D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×800×500	279
		EVCP120D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×800×500	293
200	131,6 при 380 138,6 при 400 143,8 при 415 166,3 при 480	EVCP200D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1323×582×438	171
		EVCP200D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×900×600	384
		EVCP200D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×900×600	402
300	197,5 при 380 207,8 при 400 215,6 при 415 249,4 при 480	EVCP300D5IP00	IP00 (рама)	Настенный	Снизу	1560×582×438	210
		EVCP300D5IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×900×600	422
		EVCP300D5IP54	IP54	Напольный	Снизу	2100×900×600	436

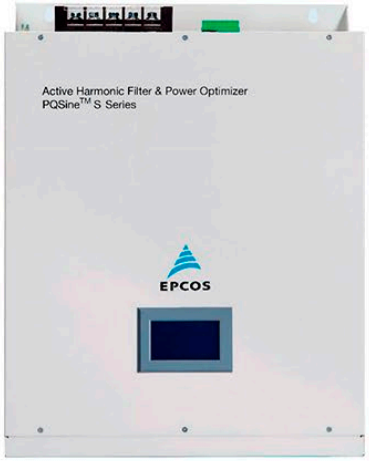
Таблица выбора. AccuSine PFV+ 600-690 В, 50/60 Гц

Iном. (А)	Qном. (кВАр) при U(В)	№ по каталогу	Степень защиты	Тип монтажа	Кабельный ввод	Типоразмер	Масса, кг
40	47,8 при 690	EVCP040D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×1400×600	483
		EVCP040D7IP54	IP54				
80	95,6 при 690	EVCP080D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2100×1400×600	533
		EVCP080D7IP54	IP54				
133	159,0 при 690	EVCP133D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2000×800×600	709
		EVCP133D7IP54	IP54				
200	239,0 при 690	EVCP200D7IP31	IP31	Напольный	Сверху/снизу	2000×800×600	827
		EVCP200D7IP54	IP54				

Активный фильтр гармоник PQSine™ для 3-фазных сетей с нейтралью и без с напряжением 380В, 480В и 690В переменного тока – сравнительно новая разработка TDK Electronics AG устройства для локализации источников гармонических возмущений спектра гармоник до 50-го порядка.

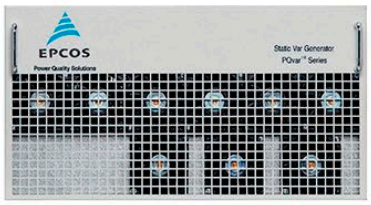
В моделях PQSine™ используется 32-разрядный DSP цифровой процессор с новым алгоритмом обработки - «selective drive control (SDC)», измерительные трансформаторы для регистрации изменений спектра и амплитуды токов в сети с нагрузкой, многоимпульсный ШИМ преобразователь – инвертор, генерирующий токи в противофазе токам нагрузки. Активные фильтры PQSine™ компактные настенного и напольного исполнения, построены по модульной системе с возможностью увеличения генерации от 25 А до 600 А, оборудованы портами Ethernet и MODBUS для интеграции с АСУ ТП или другими подсистемами Industrial Ethernet стандартов IEEE 802.3/IEEE 802.3u по IP протоколам связи, системой вентиляции, защиты и т.д.

В контроллере фильтров гармоник PQSine™ используются полупроводниковые цепи биполярных транзисторах с изолированным затвором БТИЗ (IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistors), по факту определяющие показательное время реакции до 20 мкс, но и достаточно высокую стоимость устройства, из-за чего сам производитель рекомендует применять PQSine™ совместно с пассивными фильтрами, демпфирующими наиболее интенсивные гармоники 3, 5, 7 и 9 порядков.



Применение активных фильтров гармоник PQSine™.

Активные фильтры гармоник PQSine™ используются для локализации источников гармонических искажений – электроприводов на ШИМ преобразователях, электросварочного оборудования, дуговых, индукционных, СВЧ печей, машин, агрегатов разливки стали, центров обработки данных и т.п., где спектр интенсивных гармоник широкий, а для их подавления необходима быстрая реакция. Производитель говорит о возможности использования PQSine™ и для компенсации реактивной энергии (емкостной и индуктивной), однако в этом случае необходима большая мощность фильтра.



Как и активные фильтры других производителей, PQSine™ построен на полупроводниковых цепях, но имеет трехуровневую топологию NPC, отличающуюся низкой пульсацией выходного токаи меньшими потерями в цепи, что позволяет подбирать фильтр меньшей мощности и, соответственно, цены. Вместе с тем, для экономически выгодной интеграции активных фильтров гармоник PQSine™ нужно уменьшить их мощность и цену, что реально, если:

- проектировать подключение активного фильтра максимально возможно ближе к нагрузке, генерирующей гармонические возмущения;
- использовать для подавления 3-й, 5-й, 7-й гармоник недорогие пассивные фильтры, а активный фильтр настраивать на гармоники более высокого порядка.

Таблица. *Основные технические характеристики*

Системный вход / количество фаз	3-фазный / 3-проводной; 3-фазный / 4-проводной
Частота (мин. / макс.), Гц	45/62
Входное напряжение (мин. / макс.), В	228/456; 384/552; 420/690; 483/793
Время на установление режима	<5 мс на полную компенсацию
Компенсация гармоник	до 50-й гармоники (по выбору)
Трехуровневая топология	12 IGBT устройств
Контроль	Три 32-битных DSP + CPLD
Время срабатывания	~20мкс (изменение нагрузки)
Частота переключения / контроля	20 кГц
Сигнальный процессор	32 бит
Компенсация реактивной мощности	Полная индуктивная и емкостная от 0 до 100%
Трансформатор тока	согласовывается отдельно (2 трансформатора CTs; 150 … 10000 / 5 A)
Эффективность	> 97% (для типичных нагрузок / искажений гармонического порядка)
Протоколы связи	Modbus (RTU), TCP/IP(Ethernet)
Порты связи	RS485 и RJ45
Температура	-10…+40°C (рабочая), -20…+70°C (хранения)
Класс защиты	IP20 согласно IEC 529
Цвет панели	RAL7035 светло-серый
Относительная влажность	5 … 95%, без конденсации
Внутренняя защита	Присутствует
Защита от перегрева	Присутствует
Защита от пере- и недонапряжения	Присутствует
Уровень шума, дБ	< 56
Рабочая высота	<=1500м (уменьшение : 1 % на 100 м >1500 м)
Стандарты	IEEE519, IEC 61000-3-6, ER G5/4
Стандарты проектирования	IEC 61000-4-2, 4-3/4-4/4-5/4-6/4-8/4-11, IEC 60146, EN 55011 Class A, EN 50091-1, EN 50178 (отчет о тестировании)
Сертификаты	CE, ETL (UL/CSA)

Таблица выбора. PQSine 228-456 В, 50/60 Гц

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Ток компенсации нейтрали, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSM3025S300	3-фазный / 3-проводной	25	0	модуль	484 × 470 × 150	18
PQSM3025S303	3-фазный / 3-проводной	25	0	модуль	190 × 490 × 543	18
PQSM3035S300	3-фазный / 3-проводной	35	0	модуль	484 × 470 × 150	18
PQSM3035S303	3-фазный / 3-проводной	35	0	модуль	190 × 490 × 543	18
PQSW3025S344	3-фазный / 3-проводной	25	0	настенный	440 × 150 × 490	18
PQSW3035S344	3-фазный / 3-проводной	35	0	настенный	440 × 150 × 490	18
PQSM3050S300	3-фазный / 3-проводной	50	0	модуль	484 × 590 × 190	35
PQSM3050S303	3-фазный / 3-проводной	50	0	модуль	190 × 490 × 543	35
PQSM3060S300	3-фазный / 3-проводной	60	0	модуль	484 × 590 × 190	35
PQSM3060S303	3-фазный / 3-проводной	60	0	модуль	190 × 490 × 543	35
PQSW3050S344	3-фазный / 3-проводной	50	0	настенный	440 × 192 × 610	35
PQSW3060S344	3-фазный / 3-проводной	60	0	настенный	440 × 192 × 610	35
PQSW3100S300	3-фазный / 3-проводной	100	0	настенный	440 × 232 × 625	46
PQSM3100S300	3-фазный / 3-проводной	100	0	модуль	484 × 600 × 230	48
PQSM3100S303	3-фазный / 3-проводной	100	0	модуль	255 × 508 × 588	48
PQSW3100S344	3-фазный / 3-проводной	100	0	настенный	440 × 232 × 625	48
PQSM3150S300	3-фазный / 3-проводной	150	0	модуль	530 × 520 × 269	62
PQSM3150S303	3-фазный / 3-проводной	150	0	модуль	302 × 579 × 575	62
PQSW3150S344	3-фазный / 3-проводной	150	0	настенный	505 × 286 × 565	62
PQSW3100S310	3-фазный / 3-проводной	100	0	напольный	1000 × 800 × 2200	270
PQSW3100S315	3-фазный / 3-проводной	100	0	напольный	600 × 1000 × 2200	276
PQSW3150S315	3-фазный / 3-проводной	150	0	напольный	600 × 1000 × 2200	278
PQSF3100S315	3-фазный / 3-проводной	100	0	напольный	600 × 1000 × 2200	283
PQSF3150S315	3-фазный / 3-проводной	150	0	напольный	600 × 1000 × 2200	297

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Ток компенсации нейтрали, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSW3150S310	3-фазный / 3-проводной	150	0	напольный	1000 × 800 × 2200	305
PQSF3100S310	3-фазный / 3-проводной	100	0	напольный	1000 × 600 × 2200	308
PQSW3200S310	3-фазный / 3-проводной	200	0	напольный	1000 × 800 × 2200	310
PQSW3200S315	3-фазный / 3-проводной	200	0	напольный	600 × 1000 × 2200	313
PQSF3150S310	3-фазный / 3-проводной	150	0	напольный	1000 × 600 × 2200	322
PQSW3250S315	3-фазный / 3-проводной	250	0	напольный	600 × 1000 × 2200	324
PQSW3300S315	3-фазный / 3-проводной	300	0	напольный	600 × 1000 × 2200	326
PQSF3200S315	3-фазный / 3-проводной	200	0	напольный	600 × 1000 × 2200	331
PQSF3250S315	3-фазный / 3-проводной	250	0	напольный	600 × 1000 × 2200	345
PQSW3250S310	3-фазный / 3-проводной	250	0	напольный	1000 × 800 × 2200	345
PQSW3300S310	3-фазный / 3-проводной	300	0	напольный	1000 × 800 × 2200	350
PQSF3200S310	3-фазный / 3-проводной	200	0	напольный	1000 × 600 × 2200	356
PQSF3300S315	3-фазный / 3-проводной	300	0	напольный	600 × 1000 × 2200	359
PQSF3250S310	3-фазный / 3-проводной	250	0	напольный	1000 × 600 × 2200	370
PQSW3400S315	3-фазный / 3-проводной	400	0	напольный	600 × 1000 × 2200	372
PQSF3300S310	3-фазный / 3-проводной	300	0	напольный	1000 × 600 × 2200	384
PQSF3350S315	3-фазный / 3-проводной	350	0	напольный	600 × 1000 × 2200	394
PQSF3400S315	3-фазный / 3-проводной	400	0	напольный	600 × 1000 × 2200	407
PQSW3500S315	3-фазный / 3-проводной	500	0	напольный	600 × 1000 × 2200	420
PQSF3450S315	3-фазный / 3-проводной	450	0	напольный	600 × 1000 × 2200	421
PQSW3600S315	3-фазный / 3-проводной	600	0	напольный	600 × 1000 × 2200	422
PQSF3500S315	3-фазный / 3-проводной	500	0	напольный	600 × 1000 × 2200	456
PQSF3550S315	3-фазный / 3-проводной	550	0	напольный	600 × 1000 × 2200	469
PQSF3600S315	3-фазный / 3-проводной	600	0	напольный	600 × 1000 × 2200	483
PQSM4025S300	3-фазный / 4-проводной	25	75	модуль	484 × 470 × 150	18

Таблица выбора. PQSine 228-456 В, 50/60 Гц

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Ток компенсации нейтрали, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSM4025S303	3-фазный / 4-проводной	25	75	модуль	190 × 490 × 543	18
PQSW4025S344	3-фазный / 4-проводной	25	75	настенный	440 × 150 × 490	18
PQSM4035S300	3-фазный / 4-проводной	35	105	модуль	484 × 470 × 150	18
PQSM4035S303	3-фазный / 4-проводной	35	105	модуль	190 × 490 × 543	18
PQSW4035S344	3-фазный / 4-проводной	35	105	настенный	440 × 150 × 490	18
PQSM4050S300	3-фазный / 4-проводной	50	150	модуль	484 × 590 × 190	35
PQSM4050S303	3-фазный / 4-проводной	50	150	модуль	190 × 490 × 543	35
PQSW4050S344	3-фазный / 4-проводной	50	150	настенный	440 × 192 × 610	35
PQSM4060S300	3-фазный / 4-проводной	60	180	модуль	484 × 590 × 190	35
PQSM4060S303	3-фазный / 4-проводной	60	180	модуль	190 × 490 × 543	35
PQSW4060S344	3-фазный / 4-проводной	60	180	настенный	440 × 192 × 610	35
PQSF4100S310	3-фазный / 4-проводной	100	300	напольный	1000 × 600 × 2200	308
PQSF4100S315	3-фазный / 4-проводной	100	300	напольный	600 × 1000 × 2200	283
PQSM4100S300	3-фазный / 4-проводной	100	300	модуль	484 × 600 × 230	48
PQSM4100S303	3-фазный / 4-проводной	100	300	модуль	255 × 508 × 588	48
PQSW4100S344	3-фазный / 4-проводной	100	300	настенный	440 × 232 × 625	48
PQSW4100S300	3-фазный / 4-проводной	100	300	настенный	440 × 232 × 625	46
PQSW4100S310	3-фазный / 4-проводной	100	300	напольный	1000 × 800 × 2200	270
PQSW4100S315	3-фазный / 4-проводной	100	300	напольный	600 × 1000 × 2200	276
PQSF4150S310	3-фазный / 4-проводной	150	450	напольный	1000 × 600 × 2200	322
PQSF4150S315	3-фазный / 4-проводной	150	450	напольный	600 × 1000 × 2200	297
PQSM4150S300	3-фазный / 4-проводной	150	450	модуль	530 × 520 × 269	62
PQSM4150S303	3-фазный / 4-проводной	150	450	модуль	302 × 579 × 575	62
PQSW4150S310	3-фазный / 4-проводной	150	450	напольный	1000 × 800 × 2200	305

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Ток компенсации нейтрали, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSW4150S315	3-фазный / 4-проводной	150	450	напольный	600 × 1000 × 2200	278
PQSW4150S344	3-фазный / 4-проводной	150	450	настенный	505 × 286 × 565	62
PQSF4200S310	3-фазный / 4-проводной	200	600	напольный	1000 × 600 × 2200	356
PQSF4200S315	3-фазный / 4-проводной	200	600	напольный	600 × 1000 × 2200	331
PQSW4200S310	3-фазный / 4-проводной	200	600	напольный	1000 × 800 × 2200	310
PQSW4200S315	3-фазный / 4-проводной	200	600	напольный	600 × 1000 × 2200	313
PQSF4250S310	3-фазный / 4-проводной	250	750	напольный	1000 × 600 × 2200	370
PQSF4250S315	3-фазный / 4-проводной	250	750	напольный	600 × 1000 × 2200	345
PQSW4250S310	3-фазный / 4-проводной	250	750	напольный	1000 × 800 × 2200	345
PQSW4250S315	3-фазный / 4-проводной	250	750	напольный	600 × 1000 × 2200	324
PQSF4300S310	3-фазный / 4-проводной	300	900	напольный	1000 × 600 × 2200	384
PQSF4300S315	3-фазный / 4-проводной	300	900	напольный	600 × 1000 × 2200	359
PQSW4300S310	3-фазный / 4-проводной	300	900	напольный	1000 × 800 × 2200	350
PQSW4300S315	3-фазный / 4-проводной	300	900	напольный	600 × 1000 × 2200	326
PQSF4350S315	3-фазный / 4-проводной	350	1050	напольный	600 × 1000 × 2200	394
PQSF4400S315	3-фазный / 4-проводной	400	1200	напольный	600 × 1000 × 2200	407
PQSW4400S315	3-фазный / 4-проводной	400	1200	напольный	600 × 1000 × 2200	372
PQSF4450S315	3-фазный / 4-проводной	450	1350	напольный	600 × 1000 × 2200	421
PQSF4500S315	3-фазный / 4-проводной	500	1500	напольный	600 × 1000 × 2200	456
PQSW4500S315	3-фазный / 4-проводной	500	1500	напольный	600 × 1000 × 2200	420
PQSF4550S315	3-фазный / 4-проводной	550	1650	напольный	600 × 1000 × 2200	469
PQSF4600S315	3-фазный / 4-проводной	600	1800	напольный	600 × 1000 × 2200	483
PQSW4600S315	3-фазный / 4-проводной	600	1800	напольный	600 × 1000 × 2200	422

Таблица выбора. PQSine 384-552 В, 50/60 Гц

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Ток компенсации нейтрали, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSM3075S408	3-фазный / 3-проводной	75	0	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM3075S448	3-фазный / 3-проводной	75	0	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW3075S448	3-фазный / 3-проводной	75	0	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSM3090S408	3-фазный / 3-проводной	90	0	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM3090S448	3-фазный / 3-проводной	90	0	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW3090S448	3-фазный / 3-проводной	90	0	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF3150S415	3-фазный / 3-проводной	150	0	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF3180S415	3-фазный / 3-проводной	180	0	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF3225S415	3-фазный / 3-проводной	225	0	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF3270S415	3-фазный / 3-проводной	270	0	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF3300S415	3-фазный / 3-проводной	300	0	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF3360S415	3-фазный / 3-проводной	360	0	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSM4075S408	3-фазный / 4-проводной	75	225	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM4075S448	3-фазный / 4-проводной	75	225	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW4075S448	3-фазный / 4-проводной	75	225	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSM4090S408	3-фазный / 4-проводной	90	270	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM4090S448	3-фазный / 4-проводной	90	270	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW4090S448	3-фазный / 4-проводной	90	270	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF4150S415	3-фазный / 4-проводной	150	450	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF4180S415	3-фазный / 4-проводной	180	540	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF4225S415	3-фазный / 4-проводной	225	675	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF4270S415	3-фазный / 4-проводной	270	810	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF4300S415	3-фазный / 4-проводной	300	900	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF4360S415	3-фазный / 4-проводной	360	1080	напольный	600 × 1000 × 2200	499

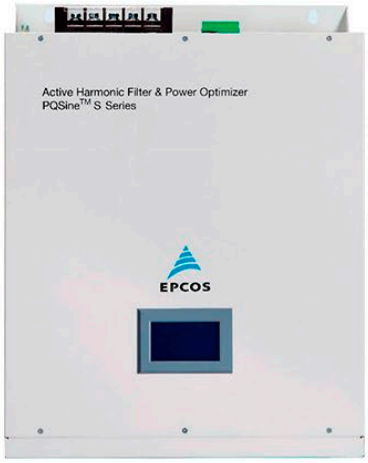
Таблица выбора. PQSine 420-690 В, 50/60 Гц

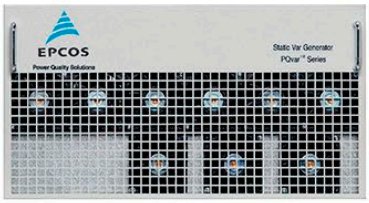
Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Ток компенсации нейтрали, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSM3075S608	3-фазный / 3-проводной	75	0	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM3075S648	3-фазный / 3-проводной	75	0	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW3075S648	3-фазный / 3-проводной	75	0	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSM3090S608	3-фазный / 3-проводной	90	0	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM3090S648	3-фазный / 3-проводной	90	0	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW3090S648	3-фазный / 3-проводной	90	0	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF3150S615	3-фазный / 3-проводной	150	0	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF3180S615	3-фазный / 3-проводной	180	0	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF3225S615	3-фазный / 3-проводной	225	0	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF3270S615	3-фазный / 3-проводной	270	0	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF3300S615	3-фазный / 3-проводной	300	0	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF3360S615	3-фазный / 3-проводной	360	0	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSM4075S608	3-фазный / 4-проводной	75	225	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM4075S648	3-фазный / 4-проводной	75	225	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW4075S648	3-фазный / 4-проводной	75	225	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSM4090S608	3-фазный / 4-проводной	90	270	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM4090S648	3-фазный / 4-проводной	90	270	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW4090S648	3-фазный / 4-проводной	90	270	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF4150S615	3-фазный / 4-проводной	150	450	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF4180S615	3-фазный / 4-проводной	180	540	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF4225S615	3-фазный / 4-проводной	225	675	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF4270S615	3-фазный / 4-проводной	270	810	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF4300S615	3-фазный / 4-проводной	300	900	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF4360S615	3-фазный / 4-проводной	360	1080	напольный	600 × 1000 × 2200	499

Таблица выбора. PQSine 483-793 В, 50/60 Гц

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Ток компенсации нейтрали, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSM3075S708	3-фазный / 3-проводной	75	0	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM3075S748	3-фазный / 3-проводной	75	0	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSM3090S708	3-фазный / 3-проводной	90	0	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM3090S748	3-фазный / 3-проводной	90	0	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW3075S748	3-фазный / 3-проводной	75	0	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSW3090S748	3-фазный / 3-проводной	90	0	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF3150S715	3-фазный / 3-проводной	150	0	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF3180S715	3-фазный / 3-проводной	180	0	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF3225S715	3-фазный / 3-проводной	225	0	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF3270S715	3-фазный / 3-проводной	270	0	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF3300S715	3-фазный / 3-проводной	300	0	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF3360S715	3-фазный / 3-проводной	360	0	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSM4075S708	3-фазный / 4-проводной	75	225	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM4075S748	3-фазный / 4-проводной	75	225	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW4075S748	3-фазный / 4-проводной	75	225	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSM4090S708	3-фазный / 4-проводной	90	270	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSM4090S748	3-фазный / 4-проводной	90	270	настенный	504 × 250 × 665	66
PQSW4090S748	3-фазный / 4-проводной	90	270	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF4150S715	3-фазный / 4-проводной	150	450	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF4180S715	3-фазный / 4-проводной	180	540	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF4225S715	3-фазный / 4-проводной	225	675	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF4270S715	3-фазный / 4-проводной	270	810	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF4300S715	3-фазный / 4-проводной	300	900	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF4360S715	3-фазный / 4-проводной	360	1080	напольный	600 × 1000 × 2200	499

TDK-Epcos™. Решения для фильтрации гармоник PQVar





Активный компенсатор реактивной мощности PQvar™ - Static var generator (SVG) разработки TDK Electronics AG (до 1 октября 2018 года EPCOS AG), или проще - инвертор тока с управлением контроллером на биполярных транзисторах с изолированным затвором БТИЗ (IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistors). По назначениюактивный компенсатор реактивной мощности PQvar™ - аналог статических компенсаторов с емкостью и индуктивностью для демпфирования, как емкостной, так и индуктивной реактивной нагрузки, а сам PQvar™ на базе трехуровневого (3L) инвертора может работать в сети совместно с традиционными средствами пассивной компенсации – конденсаторными установками повышения коэффициента мощности КРМ, УКРМТ, УКРМФ, УКРМТФ.

Модели PQvar™ Series называют активным компенсатором реактивной мощности из-за малого времени отклика (менее 15 мс) и времени реакции на изменения потребности в реактивной энергии (менее 50 мкс), хотя по факту генерация токов остается дискретной и отличается от плавной динамической компенсации синхронными машинами.Поэтому активный компенсатор реактивной мощности PQvar™ может использоваться в центрах обработки данных, системах бесперебойного питания, экструдерах, литейных машинах, производственных линиях промышленных объектов и т.д., где необходимо быстрое изменение генерации реактивной энергии для исключения рисков недо- или перекомпенсации, а также есть потребность в нивелировании перетоков емкостного и индуктивного характера.

Принцип работы генераторов реактивной энергии (SVG) PQvar™.

Принцип работы активного компенсатора реактивной мощности PQvar™ (упрощенно) основан на регистрации изменения измерительными трансформатором реактивной энергии нагрузки, обработке данных интеллектуальным контроллером и генерации токов инвертором в противофазе реактивным токам нагрузки аналогично активным фильтрам гармоник, но на фундаментальной частоте. Т.е. по факту так же, как конденсаторы вбрасывают в сеть накопленную энергию с емкостным током, демпфирующим токи индуктивной нагрузки, а синхронные машины – индуктивные токи, противоположные по фазе токам емкостной нагрузки, SVG PQvar™ генерирует противофазные токи, по сути, «запирая» перетоки реактивной мощности на участке между нагрузкой и компенсатором.

В отличие от конденсаторных установок, генерирующих только емкостные токи со скоростью, определяемой временем коммутации ступеней и циклом заряда-разряда конденсаторов, активный компенсатор реактивной мощности PQvar™ при необходимости генерирует и емкостные, и индуктивные (по фазе) токи, а компенсация по длительности происходит в 3/4 цикла. В отличие от синхронных машин генераторыреактивной энергии (SVG) PQvar™ работают с нагрузкой любого характера, не требуют масштабных работ по установке, но имеют большее время отклика на изменения.

Таблица. *Основные технические характеристики*

Системный вход / количество фаз	3-фазный / 3-проводной; 3-фазный / 4-проводной
Частота (мин. / макс.), Гц	45/62
Входное напряжение (мин. / макс.), В	240/480; 483/793
Время на установление режима	<5 мс на полную компенсацию
Трехуровневая топология	12 IGBT устройств
Компенсация реактивной мощности	Полная индуктивная и емкостная от 0 до 100%
Трансформатор тока	согласовывается отдельно (2 трансформатора CTs; 150 … 10000 / 5 A)
Эффективность	> 97% (для типичных нагрузок / искажений гармонического порядка)
Порты связи	RS485, CAN, Ethernet RJ45
Протоколы связи	Modbus и PMBus
Температура	-10…+40°C (рабочая)
Класс защиты	IP20 согласно IEC 529
Цвет панели	RAL7035 светло-серый
Относительная влажность	5 … 95%, без конденсации
Внутренняя защита	Присутствует
Защита от перегрева	Присутствует
Защита от пере- и недонапряжения	Присутствует
Уровень шума, дБ	< 65
Рабочая высота	<=1500м (уменьшение : 1 % на 100 м >1500 м)
Требования SVG EMC	EN 61000_6_2(2005) EN55011,GROUP1,CLASS A, IEC 61000_6_2(1999) CISPR11,GROUP1,CLASS A
Требования к производительности SVG	EN 50091-3 IEC 62040-3 AS 62040-3(VFI SS 111)

Таблица выбора. PQVar 240-480 В, 50/60 Гц

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSWF6030V300	3-фазный / 3-проводной	30	модуль	530 × 558 × 190	35
PQSWF6030V344	3-фазный / 3-проводной	30	настенный	500 × 191 × 582	35
PQVM6050V300	3-фазный / 3-проводной	50	модуль	530 × 558 × 190	35
PQSWF6050V344	3-фазный / 3-проводной	50	настенный	500 × 191 × 582	35
PQVM6100V300	3-фазный / 3-проводной	100	модуль	530 × 520 × 269	62
PQSF6100V315	3-фазный / 3-проводной	100	напольный	600 × 1000 × 2200	297

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSWF6100V344	3-фазный / 3-проводной	100	настенный	500 × 286 × 565	62
PQSF6150V315	3-фазный / 3-проводной	150	напольный	600 × 1000 × 2200	332
PQSM6200V300	3-фазный / 3-проводной	200	модуль	530 × 690 × 370	115
PQSF6200V315	3-фазный / 3-проводной	200	напольный	600 × 1000 × 2200	359
PQSW6200V344	3-фазный / 3-проводной	200	настенный	500 × 370 × 690	115
PQSF6250V315	3-фазный / 3-проводной	250	напольный	600 × 1000 × 2200	394
PQSF6300V315	3-фазный / 3-проводной	300	напольный	600 × 1000 × 2200	421
PQSF6400V315	3-фазный / 3-проводной	400	напольный	600 × 1000 × 2200	483
PQSF6500V315	3-фазный / 3-проводной	500	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	780
PQSF6600V315	3-фазный / 3-проводной	600	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	842
PQSF6700V315	3-фазный / 3-проводной	700	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	904
PQSF6800V315	3-фазный / 3-проводной	800	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	966
PQSM8030V300	3-фазный / 4-проводной	30	модуль	530 × 558 × 190	35
PQSW8030V344	3-фазный / 4-проводной	30	настенный	500 × 191 × 582	35
PQSM8050V300	3-фазный / 4-проводной	50	модуль	530 × 558 × 190	35
PQSW8050V344	3-фазный / 4-проводной	50	настенный	500 × 191 × 582	35
PQSM8100V300	3-фазный / 4-проводной	100	модуль	530 × 520 × 269	62
PQSF8100V315	3-фазный / 4-проводной	100	напольный	600 × 1000 × 2200	297
PQSW8100V344	3-фазный / 4-проводной	100	настенный	500 × 286 × 565	62
PQSF8150V315	3-фазный / 4-проводной	150	напольный	600 × 1000 × 2200	332
PQSM8200V300	3-фазный / 4-проводной	200	модуль	530 × 690 × 370	115
PQSF8200V315	3-фазный / 4-проводной	200	напольный	600 × 1000 × 2200	359
PQSW8200V344	3-фазный / 4-проводной	200	настенный	500 × 370 × 690	115
PQSF8250V315	3-фазный / 4-проводной	250	напольный	600 × 1000 × 2200	394
PQSF8300V315	3-фазный / 4-проводной	300	напольный	600 × 1000 × 2200	421
PQSF8400V315	3-фазный / 4-проводной	400	напольный	600 × 1000 × 2200	483
PQSF8500V315	3-фазный / 4-проводной	500	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	780
PQSWF8500V344	3-фазный / 4-проводной	500	настенный	500 × 190 × 560	35
PQSF8600V315	3-фазный / 4-проводной	600	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	842
PQSF8700V315	3-фазный / 4-проводной	700	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	904
PQSF8800V315	3-фазный / 4-проводной	800	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	966

Таблица выбора. PQVar 483-793 В, 50/60 Гц

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSWF6050V600	3-фазный / 3-проводной	50	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF6050V644	3-фазный / 3-проводной	50	настенный	504 × 253 × 640	66
PQSM6050V700	3-фазный / 3-проводной	50	настенный	544 × 640 × 250	66
PQSW6050V744	3-фазный / 3-проводной	50	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSWF6075V600	3-фазный / 3-проводной	75	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF6075V644	3-фазный / 3-проводной	75	настенный	504 × 253 × 640	66
PQSM6075V700	3-фазный / 3-проводной	75	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSW6075V744	3-фазный / 3-проводной	75	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSWF6095V600	3-фазный / 3-проводной	95	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF6095V644	3-фазный / 3-проводной	95	настенный	504 × 253 × 640	66
PQSM6095V700	3-фазный / 3-проводной	95	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSW6095V744	3-фазный / 3-проводной	95	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSWF6110V600	3-фазный / 3-проводной	110	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF6110V644	3-фазный / 3-проводной	110	настенный	504 × 253 × 640	66
PQSM6110V700	3-фазный / 3-проводной	110	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSF6110V715	3-фазный / 3-проводной	110	напольный	600 × 1000 × 2200	301
PQSW6110V744	3-фазный / 3-проводной	110	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF6220V715	3-фазный / 3-проводной	220	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF6330V715	3-фазный / 3-проводной	330	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF6440V715	3-фазный / 3-проводной	440	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF6550V715	3-фазный / 3-проводной	550	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	800
PQSF6660V715	3-фазный / 3-проводной	660	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	866
PQSF6770V715	3-фазный / 3-проводной	770	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	932
PQSF6880V715	3-фазный / 3-проводной	880	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	998
PQSWF8050V600	3-фазный / 4-проводной	50	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF8050V644	3-фазный / 4-проводной	50	настенный	504 × 253 × 640	66
PQSM8050V700	3-фазный / 4-проводной	50	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSW8050V744	3-фазный / 4-проводной	50	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSWF8075V600	3-фазный / 4-проводной	75	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF8075V644	3-фазный / 4-проводной	75	настенный	504 × 253 × 640	66

Модель	Системный вход / количество фаз	Ток компенсации по фазам, А	Тип монтажа	Типоразмер	Масса, кг
PQSM8075V700	3-фазный / 4-проводной	75	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSW8075V744	3-фазный / 4-проводной	75	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSWF8095V600	3-фазный / 4-проводной	95	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF8095V644	3-фазный / 4-проводной	95	настенный	504 × 253 × 640	66
PQSM8095V700	3-фазный / 4-проводной	95	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSW8095V744	3-фазный / 4-проводной	95	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSWF8110V600	3-фазный / 4-проводной	110	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSWF8110V644	3-фазный / 4-проводной	110	настенный	504 × 253 × 640	66
PQSM8110V700	3-фазный / 4-проводной	110	модуль	544 × 640 × 250	66
PQSF8110V715	3-фазный / 4-проводной	110	напольный	600 × 1000 × 2200	301
PQSW8110V744	3-фазный / 4-проводной	110	настенный	504 × 253 × 725	66
PQSF8220V715	3-фазный / 4-проводной	220	напольный	600 × 1000 × 2200	367
PQSF8330V715	3-фазный / 4-проводной	330	напольный	600 × 1000 × 2200	433
PQSF8440V715	3-фазный / 4-проводной	440	напольный	600 × 1000 × 2200	499
PQSF8550V715	3-фазный / 4-проводной	550	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	800
PQSF8660V715	3-фазный / 4-проводной	660	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	866
PQSF8770V715	3-фазный / 4-проводной	770	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	932
PQSF8880V715	3-фазный / 4-проводной	880	напольный	2× 600 × 1000 × 2200	998

Пакеты параметров качества электроэнергии в сети - минимальный (стандартный) и используемый компанией «МИРКОН»

Все параметры качества электроэнергии в сети условно делят на:

- обязательные (или минимальные), формализованные в действующих национальных стандартах ГОСТ 33073-2014, ГОСТ 32144-2013, ГОСТ 30804.4.30-2013, а также ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020 и ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020 по нормам индикативных уровней эмиссии гармоник, сверх- и интергармоник;
- дополнительные, позволяющие в совокупности с обязательными и перспективными параметрами получить максимально возможно полную и достоверную картину качества электроэнергии в сети объекта.

Компания «МИРКОН» осуществляет мониторинг, регистрацию и анализ только максимально полного пакета параметров с использованием современных анализаторов класса точности класса «А», что позволяет с большой достоверностью оценить состояние сети в долгосрочном периоде, найти «узкие» места и разработать мероприятия по устранению проблем.

Информация представлена в формате: «Параметр» / «Измеряемый или расчетный показатель»

Напряжение

Для продолжительных изменений:

- Положительное отклонение
- Отрицательное отклонение
- Установившееся отклонение
- Отклонение частоты
- Коэффициент несимметрии по обратной и нулевой последовательности
- Коэффициент искажения синусоидальности
- Коэффициент n-ой гармонической составляющей (n от 2 до 50)
- Коэффициент h-ой интергармонической составляющей напряжения (h от 1 до 49)
- Напряжение информационных сигналов

Для случайных событий:

- Длительность провала напряжения
- Длительность прерывания напряжения
- Длительность временного перенапряжения
- Глубина провала напряжения
- Коэффициент временного перенапряжения
- Длительность импульса напряжения
- Амплитуда импульса напряжения

Дополнительные показатели:

- Среднеквадратическое значение напряжения основной частоты
- Среднеквадратическое значение напряжения гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Среднеквадратическое значение напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей

Сила тока

- Среднеквадратическое значение тока основной частоты
- Среднеквадратическое значение тока прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Коэффициент искажения синусоидальности
- Коэффициент несимметрии тока по обратной последовательности
- Коэффициент несимметрии тока по нулевой последовательности
- Среднеквадратическое значение тока гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Коэффициент n-ой гармонической составляющей тока (n от 2 до 50)
- Коэффициент h-ой интергармонической составляющей тока (h от 1 до 49)

Углы фазовых сдвигов между

- Напряжениями основной частоты
- Токами основной частоты
- Напряжением и током основной частоты
- Симметричными составляющими напряжений и токов прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Гармоническими составляющими напряжений и токов

Электрическая мощность

- Активная мощность основной частоты
- Активная мощность гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Реактивная мощность основной частоты
- Реактивная мощность гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Полная мощность основной частоты
- Полная мощность гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Активные мощности прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Реактивные мощности прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Полные мощности прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Активная мощность n-ой гармонической составляющей
- Реактивная мощность n-ой гармонической составляющей
- Полная мощность n-ой гармонической составляющей

Электрическая энергия

- Активная энергия
- Реактивная энергия

Модернизация фильтров и фильтрокомпенсирующих устройств в решениях компании «МИРКОН»

В условиях цифровизации электросетей с модернизацией и/или заменой силового оборудования до уровня, соответствующего требованиям концепций «Цифровая трансформация 2030», СТО 34.01-9-005-2020 по сетям связи, СТО 34.01-21-005-2019 по проектированию цифровых сетей 0,4-220 кВи стандартов ПАО «Россети», компания «МИРКОН» предлагает гибкие, наращиваемые по технологичности и мощности технические решениялокализации источников гармонических возмущений и нивелирования гармоник на базе модульных комплектных устройств.

В зависимости от конкретной текущей ситуации в сети объекта с компенсацией реактивной мощности и уровнем эмиссии (и трансмиссии) гармоник, регистрируемых энергоаудитом с анализом качества электроэнергиипо пакету параметров, разрабатываются проекты устройств:

- целевых – активных (АФГ) или пассивных фильтров гармоник, в том числе одно- или многозвенных с выбором топологии, обоснованием места подключения и экономической целесообразности;
- гибридных на базе активного фильтра гармоник, мощность (и цена) которого снижена за счет использования в сборке одно- или многозвенного пассивного фильтра для нивелирования наброса токов гармоник первых порядков;
- комбинированных из УКРМ (на тиристорных ключах или релейной, готовой к модернизации), в том числе с нерегулируемой ступенью (ступенями) для компенсации фоновой потребности в реактивной мощности, а также активного (АФГ) и/или пассивного фильтра гармоник для локализации источника гармонических возмущений и/или блокирования трансмиссии гармоник между сетями (участками сети).

Любой проект целевого фильтра, гибридной или комбинированной фильтрокомпенсирующей установки разрабатывается по ГОСТ Р 59031-2020, ГОСТ Р 59032.1-4-2020 иблочно-модульным для возможности оперативного (непосредственно на объекте):

- наращивания мощности при модернизации, замене силового оборудования, расширении производства, инфраструктуры;
- повышения технологичности по управлению и коммутации с программно-аппаратными комплексами цифровой сети по установленным каналам связи АСУ ТП или других подсистем IndustrialEthernet стандартов IEEE 802.3/IEEE 802.3u по IP протоколам.

Гарантийные обязательства компании «МИРКОН» по фильтрам гармоник и фильтрокомпенсирующим устройствам

Компания «МИРКОН» осуществляет свою деятельность исключительно в правовом поле технических регламентов, федеральных, отраслевых и ведомственных нормативно-правовых актов, формируя свои отношения с Заказчиками, Партнерами, дистрибьюторами и дилерами в соответствии с требованиями актуальных и прогрессивных документов.

В части гарантий на продукцию бренда и обеспечивающих их выполнение сервисов менеджмент «МИРКОН» ориентируется, как на действующие ГОСТ 1282-88, ГОСТ 27389-87 ГОСТ 14254-2015, ГОСТ Р 56744-2015, ГОСТ IEC 61921-2013, ГОСТ Р 51321.1-2007 и т.д., так и СТО 34.01-3.2.11-012-2017 ПАО «Россети», определяющий наиболее жесткие требования к гарантийным обязательствам производителей установок повышения коэффициента мощности.

Важно: Поскольку на текущий момент пока не разработан единый нормативно правовой акт по гарантиям изготовителя фильтров гармоник для сетей низкого и низкого среднего напряжения, токомпания «МИРКОН» определяет свои гарантийные обязательства по:

- п. 4.3 ГОСТР 59032.1-2020, где регламентированы ответственности между заказчиком и изготовителем по двум схемам в зависимости от получения информации о конфигурации системы переменного тока, максимальной и минимальной мощности и планируемого расширения в будущем, импедансе системы для гармоник, величине пиковых нагрузок и т.д.;
- СТО 34.01-3.2.11-012-2017 и СТО 56947007- 29.180.078-2011, проецируя требования ПАО «Россети» к установкам повышения коэффициента мощности, конденсаторам и ПАО «ФСК ЕЭС» по реакторам на фильтры гармоник и фильтрокомпенсирующие устройства.

Наряду с этим, из-за высокого уровня принимаемых на себя гарантийных обязательств компания «МИРКОН» предъявляет повышенные требования к качеству и пакетам технических свойств комплектующих, закупаемых под сборку установок УКРМ, активных и пассивных фильтров гармоник у Партнеров, а также к квалификации, опыту своих сотрудников, в том числе преимущественно занятых гарантийным и постгарантийным обслуживанием поставляемой продукции.

Для фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств компания «МИРКОН» устанавливает и гарантирует:

- срок эксплуатации 5 лет с момента ввода и общий срок службы не менее 30 лет;
- коэффициент готовности фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств к полноценной работе в период поставки не менее 0,995, после ввода в действие и настройки 1.0;
- интенсивность отказов конденсаторов в схемах пассивных фильтров, накопителях АФГ в течение 2-хлетнего периода приработки не более 1х10-7 1/ч, после приработки не более 0.5х10-7 1/ч, наработка на отказ реакторов не менее 25000 часов;
- поставку запасных частей, модулей, блоков для ремонта и замены без нарушения функциональности и ухудшения заявленной эффективности работы еще в течение 20 лет после окончания гарантийного срока;
- поставку запасных частей, модулей, блоков для ремонта, реновации или модернизации в срок менее полугода с момента подписания двустороннего договора;
- безоговорочное соответствие требованиям федеральной, отраслевых программ импортозамещенияфильтра гармоник, заявленного компанией «МИРКОН» со статусом «отечественное изделие».

Важно: Гарантийные обязательства компании «МИРКОН» в отношении своих продуктов являются безусловными, но не безоговорочными и компания берет на себя полную ответственность за работоспособность УКРМ, фильтров гармоник если:

- активные, пассивные или гибридные фильтры гармоник были подобраны (или разработаны) по данным анализа энергоаудита объекта с мониторингом параметров качества электроэнергии, проведенного специалистами компании (или сертифицированной организацией);
- условия эксплуатации по нагрузке, токам гармоник, температурно-влажностному режиму в течение гарантийного периода соответствуют проектным (моменту введения в действие);
- эксплуатация фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств осуществлялась персоналом, прошедшим обучение специалистами компании и имеющим соответствующий сертификат.

Гарантийные выезды и сервисы, обеспечивающие выполнение гарантийных обязательств

Для исполнения своих гарантийных обязательств компания «МИРКОН» обеспечивает:

- наличие на складах в Серпуховском отделении аварийного резерва запасных частей и других комплектующих, достаточного для оперативного ремонта всех поставляемых установок и фильтров гармоник в срок не более 5 суток;
- наличие в Серпуховском отделении резерва производственной мощности для оперативного восстановления установок, фильтров гармоник, не подлежащих ремонту на объекте по техническим или иным причинам;
- оперативный (в срок до 3-х суток) гарантийный выезд профильных специалистов с сервисного центра компании «МИРКОН» для решения технических и эксплуатационных проблем работы фильтров гармоник на объекте;
- проведение онлайн консультаций по удобному для Клиентов каналу коммуникации с рекомендациями по обслуживанию фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств;
- регулярное проведение выездных семинаров, коучингов, тренингов для сотрудников Заказчика по обучению эксплуатации и настройки фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств с выдачей соответствующих сертификатов.

Постгарантийный сервис

Менеджмент компании «МИРКОН» определяет для своих фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств беспрецедентно высокий 5-тилетний гарантийный срок, обеспечивая выполнение своих гарантийный обязательств, как пакетом организационно-технических мероприятий, так и закупкой комплектующих только высокого качества, в том числе категорий военной приемки (ВП), особой серии (ОС), ОТК.

Вместе с тем:

- гарантийный срок определяет только период бесплатного обслуживания, но не реальное время эксплуатации установок фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств компании;
- при соответствующем профессиональном обслуживании сборки компании «МИРКОН» могут работать и эффективно используются после окончания гарантийного срока еще не менее четверти века;
- при небольших изменениях режима работы объекта, характера нагрузки во время эксплуатации, в том числе после гарантийного срока нужна коррекция настройки фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств для более эффективного использования и снижения рисков аварийности;
- при любых существенных изменениях в силовой сети объекта – расширении производства, инфраструктуры, увеличении объема нагрузки, уровня, интенсивности гармонических искажений и пр. – нужно адаптировать средства локализации источников гармоник к текущим условиям эксплуатации;
- любое оборудование, в том числе фильтры гармоник и фильтрокомпенсирующие устройства со временем устаревают, причем не только и не столько технически, сколько морально, а потому вполне логично модернизировать эксплуатируемое оборудование для повышения эффективности и надежности его работы.

Все это предопределяет актуальность постгарантийного сервиса – пакета оплатных услуг, регламентированного по цене и спектру двусторонним договором на краткосрочное или долговременное обслуживание.

Что входит в постгарантийный сервис компании «МИРКОН»

В ТОП приоритетов деятельности компании «МИРКОН» входит всесторонняя поддержка своих Клиентов на максимально возможном уровне и поэтому в постгарантийный сервис априори включены:

- онлайн консультации по удобному для Клиентов каналу коммуникации – бесплатные по вопросам обслуживания эксплуатируемых установок, фильтров гармоник, сервисам компании, превентивной оценке последствий изменений условий эксплуатации оборудования и т.д., и т.п.

Важно: Оплачиваются по низкому тарифу с использованием действующих акций только

проектные работы в направлении модернизации эксплуатируемого оборудования, выезды специалистов на объект для консультаций и технической помощи на месте и пр.

- оперативный выезд профильных специалистов сервисного центра, Серпуховского или Московского отделений компании на объект для настройки, реновации, модернизации фильтров гармоник и фильтрокомпенсирующих устройств, оплачиваемый в зависимости от географического положения объекта и выполненного по факту объема работ и материалов;
- разработка проектов модернизации эксплуатируемых средств компенсации реактивной мощности и локализации источников гармоник при существенных изменениях режима, характера, объема нагрузки и уровня гармонических искажений в сети;
- выездные семинары, коучинги, тренинги для персонала Клиента, как обслуживающего установки фильтры гармоники фильтрокомпенсирующие устройства, так и работающего в направлении энергосбережения, повышения энергетической эффективности, надежности и качества электроэнергии в силовой сети объекта.

Литература:

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160с.
2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. - 6-е изд., перераб. и доп. - М: Энерго-атомиздат, 2010.
3. И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др. Управление качеством электроэнергии (под ред. Ю.В. Шарова) – М.: МЭИ. 2006.
4. В. Х. Осадченко, Я. Ю. Волкова, Ю. А. Кандрина. Резонансные свойства RLC-цепей : [учеб.-метод. пособие] - Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2013.

Приложение 1: Опросный лист на выбор конденсаторной установки. Лист 1

* - Стандартная комплектация не влияющая на изменение стоимости установки.

Наименование установки: _____

Тип установки

☐ Нерегулируемая

Регулируемая автоматически с коммутацией: ☐ Контакторами ☐ Тиристорами

Защита конденсаторов от высших гармоник: (Фильтровая)
☐ Нет * ☐ 210 Гц (7-ая гармоника 5,67%, конденсаторы на 0.44 кВ) ☐ 189 Гц (5-ая гармоника 7%, конденсаторы на 0.44 кВ) ☐ 134 Гц (3-я гармоника 14%, конденсаторы на 0.48 кВ)

Параметры сети

$U_{ном}$ сети: ☐ 0.4 кВ * ☐ 0.23 кВ ☐ 0.69 кВ ☐ Другое

Дополнительные параметры конденсаторов (при необходимости)

$U_{ном}$ конденсаторов, не менее: ☐ 0.4 кВ * ☐ 0.44 кВ ☐ 0.48 кВ ☐ Другое

Длительно выдерживаемый ток: ☐ 1,5 In ☐ 1,8 In, NIl≤20% ☐ Другое

Параметры установки

Номинальная мощность, кВАр: _____
при $U_{ном}$ и частоте

Мощность минимальной ступени регулирования, кВАр: (шаг регулирования)
☐ 2,5 ☐ 5 ☐ 10 ☐ 12,5 * ☐ 15
☐ 20 ☐ 25 * ☐ 30 ☐ 33,3 ☐ 37,5 *
☐ 40 ☐ 50 * ☐ 67 ☐

Тип вводного устройства: ☐ Без вводного устройства ☐ С вводным устройством

Выносная рукоять: блокировка двери ☐ Да ☐ Нет

Тип ввода: ☐ Сверху ☐ Снизу ☐ Другое

Особенности регулятора реактивной мощности: ☐ Автоинсталляция* ☐ Наличие порта RS-485 ☐ Другое

Степень защиты: ☐ IP-31 * ☐ IP-44 ☐ IP-54 ☐ Другое

Климатическое исполнение: ☐ У * ☐ УХЛ ☐ ХЛ ☐ Другое

Категория размещения: ☐ 4 * (в составе оборудования) ☐ 3 * (внутри помещения) ☐ 2 (под навесом) ☐ 1 (на открытом воздухе)

Ограничение по габаритным размерам в мм, не более: ☐ Ширина ☐ Глубина ☐ Высота ☐ Нет

Приложение 1: Опросный лист на выбор конденсаторной установки. Лист 2

* - Стандартная комплектация не влияющая на изменение стоимости установки.

Тип корпуса

☐ Напольный (производство РФ, по желанию с цоколем)

☐ Навесной Стандартно до 250 кВАр (включительно)

☐ Давальческий (корпус предоставляется Заказчиком)

Другое

Требование к компонентам (влияние на цену)

☐ Сбалансировано

☐ Премиум

Необходимость шеф-монтажа

☐ Да. (укажите адрес)

☐ Нет

Адрес объекта

Наименование Заказчика:
или название объекта

Общие примечания:
что необходимо учесть

МИРКОН
КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

НАДЕЖНОСТЬ
Усиленные конденсаторы

ПРОСТОТА И ИНФОРМАТИВНОСТЬ
Автоинсталляция
Память аварийных отключений

НЕВЫСОКАЯ ЦЕНА

УДОБСТВО ПОДКЛЮЧЕНИЯ
Шинный мост для двух и более кабелей

БЕЗОПАСНОСТЬ
Блокировка двери

15% СКИДКА ДИЛЕРАМ

ГАРАНТИЯ 24 МЕСЯЦА

ПРОИЗВОДСТВО КОМПЛЕКТАЦИЯ СЕРВИС

www.mircond.com