

Сети питания и гармоники

Распространенные сети питания

Частота питающей сети **50 Гц**, 60 Гц

1 фазные:	3 фазные	высоковольтные (>1кВ)
- 110В - 220/230В - 380/400В	- 220В/230В - 380В/400В - 525В/600В - 660В/690В	

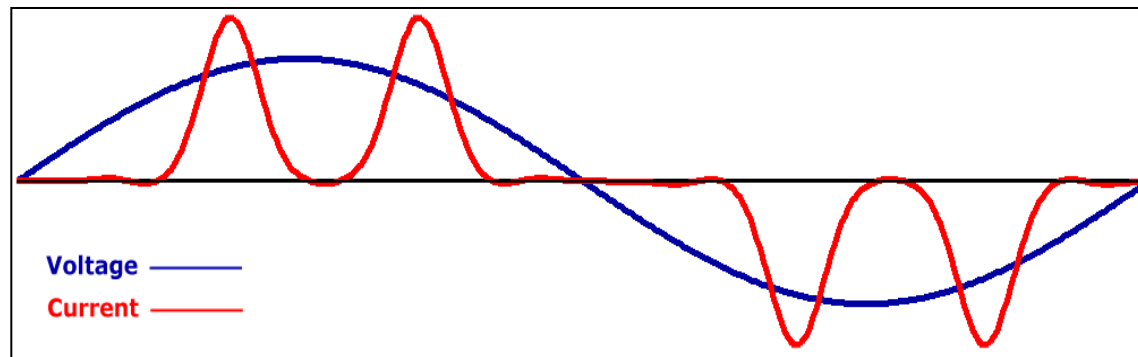
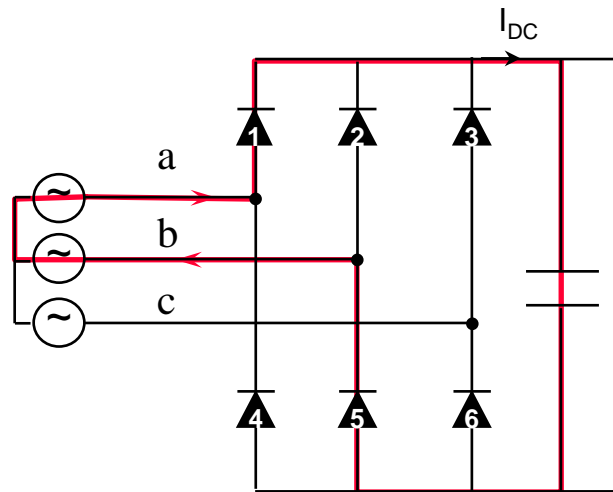
Распространенные сети в РФ выделены красным

Дanfoss выпускает только низковольтную продукцию (до 1 кВ)
самым распространенной сетью является 3 фазы 380В 50Гц

для высоковольтных ПЧ рекомендуется замена двигателя или
2-х трансформаторная схема

Источники происхождения гармоник

- Любой нелинейный потребитель («всё кроме лампочки накаливания»)
- Выпрямители входящие в состав преобразователей частоты являются мощными источниками гармонических искажений



Негативные эффекты от гармоник

Искажение синусоидальной формы кривой питающего напряжения

несоблюдение ГОСТа приводит к выходу оборудования из строя

Увеличивается реактивная мощность и возрастает полный ток протекающий в линии

потери на реактивную энергию

увеличение активных потерь в линиях

увеличение активных потерь в трансформаторе

Перегрузка оборудования и сокращение срока службы

завышение мощности трансформатора

увеличение сечения кабелей

Гармонические искажения тока THiD

Допустимое отклонение формы тока от синусоидальной на территории РФ не определено. Однако в Европе, США и ряде других стран действует стандарт **IEEE 519** (или его аналог) ограничивающий гармоники на уровне 5 – 10 %, что означает **практически обязательное использование фильтров гармоник** на больших мощностях для выполнения требований стандарта

В России крупные компании применяют внутренние нормативные акты на необходимость соответствия оборудования требованиям IEEE 519.
Например у ОАО «Газпром» это ВРД 39-1.10-052-2001

Типовые значения токов гармоник:

ПЧ без фильтров и дросселей $THiD > 100\%$

ПЧ с дросселем $THiD = 40\% - 50\%$

ПЧ с дополнительным фильтром (АНФ, ААФ) $THiD < 10\%$

Гармонические искажения по току переходят в искажения по напряжению при недостаточном запасе по мощности трансформатора / дизель-генератора

Искажение синусоидальной формы кривой питающего напряжения THVD

Допустимое отклонение формы питающего напряжения от синусоидальной на территории РФ определено в **ГОСТ 13109-1997**. Этот стандарт определяет более жесткие допуски на отклонение напряжения от синусоидальной формы, чем европейский стандарт **EN 50160**

Коэффициент отклонения по напряжению $< 8,6\%$ $THVD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} \left(\frac{V_h}{V_1}\right)^2}$

Отклонение от требований влечет за собой сокращение срока службы, как потребителей работающих на этой сети, так и самого частотного преобразователя, а также **велик риск выхода оборудования из строя**, так как потребители проектируются на работу в сетях с предельно допустимыми отклонениями формы напряжения от синусоиды в соответствии ГОСТ 13109-1997

Ответственность за несоблюдение ГОСТ: статья 19.19 КоАП (штраф от 40 000 до 50 000 руб с конфискацией предмета правонарушения) + компенсация причиненного ущерба

Расчет мощности входного трансформатора для выполнения требований ГОСТ 13109-1997

Расчеты показывают, что в большинстве случаев, при питании преобразователя частоты Данфосс не оборудованного дополнительным фильтром гармоник, **мощность питающего трансформатора должна быть завышена минимум на 25%**

Соотношение **мощности короткого замыкания** питающего трансформатора с мощностью преобразователя для выполнения требований **ГОСТ 13109-1997**

P – активная мощность преобразователя частоты

S – мощность КЗ. Силового питающего трансформатора

Для стороннего ПЧ $(S / P) > 33$

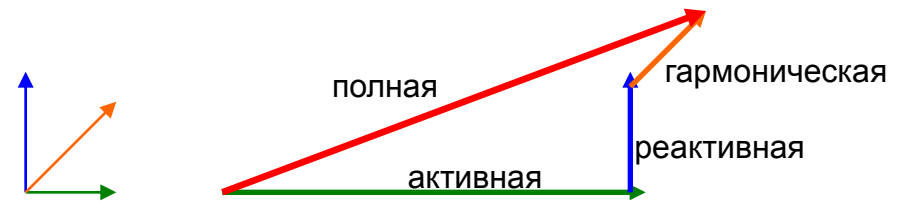
Для ПЧ Danfoss без фильтра $(S / P) > 14$

Для ПЧ Danfoss с фильтром АНF005 $(S / P) > 2,1$

Использование фильтра гармоник позволяет избежать переразмеривания трансформатора

Запас по мощности особенно актуален для дизель генераторов. Типовой запас по мощности дизель-генератора с ПЧ (с дросселем без АНF фильтра) 4,66 раза. С АНF05 фильтром запас не нужен

Полная мощность сети = Активная составляющая + Реактивная + Гармоническая



Активная составляющая – отвечает за полезную работу (например, непосредственно крутящий момент двигателя). За потребление активной составляющей считается основной тариф за электроэнергию

Реактивная составляющая – непосредственно в работе не расходуется, но служит для «обеспечения возможности» потреблять активную энергию. Например, энергия на намагничивание двигателя для последующего создания крутящего момента.

Гармоническая составляющая – возникает из-за нелинейных потребителей мощности (например, выпрямитель ПЧ) и является «паразитной»

Источники энергии (трансформаторы) выбираются по полной мощности

Очень часто для оценки активной составляющей используют $\cos \varphi$ - отношение активной мощности к полной. В таком случае следует объединять реактивную и гармоническую составляющие. Например, часто заявлено, что $\cos \varphi$ ПЧ ~ 1 , однако это без учета гармоник. Если не использовать дополнительные входные фильтры $\cos \varphi$ за счет наличия высших гармоник в среднем равен 0,9

Потребление реактивной мощности

$\cos \varphi$ преобразователя частоты с учетом гармоник примерно 0,9

То есть в среднем нужно заложить дополнительные 10% мощности и тока на реактивную составляющую

Например: для ПЧ без фильтра гармоник мощностью 800кВт полный ток в питающих кабелях увеличивается с 1267 до 1407А, реактивная мощность 100 кВАр

Если убрать фильтрами гармоническую составляющую, мы могли бы задействовать около 10% мощности трансформатора на подключение дополнительных потребителей

Пока стоимость реактивной энергии определяют РЭК. Типовая стоимость реактивной энергии потребленной сверх допустимых 5,5% составляет **1кВар = 8% от стоимости 1кВт**. Решение о тарификации реактивной составляющей прописывается в договоре с энергоснабжающей компанией

Реактивный ток также участвует в тепловых потерях на сопротивлении в кабелях (активная работа)

Столь значительное увеличение питающего тока приводит к необходимости в соответствии с ПУЭ закладывать **питающие кабели на 1 сечение больше**.

Использование фильтров делает $\cos \varphi = 0,98$ и снижает величину питающего тока до номинального значения

Реактивная мощность и потери в трансформаторе

Как уже отмечалось, при питании преобразователя частоты Данфосс не оборудованного дополнительным фильтром гармоник, **мощность питающего трансформатора должна быть завышена минимум на 25%**

Потери в трансформаторе приводятся производителем исходя из линейной нагрузки. **В соответствии с рекомендациями и расчетами IEEE** наличие гармонического спектра тока приводит к увеличению потерь:

Для ПЧ без дросселя увеличение потерь трансформатора **в 9,23 раза**

Для ПЧ VLT® увеличение потерь трансформатора **в 2,66 раза**

Для ПЧ VLT® с фильтром увеличение потерь трансформатора **в 1,15 раза**

Например для трансформатора мощностью 1000 кВА (номинальные потери 12,3 кВт)

ПЧ без дросселя дополнительные потери 101 кВт ч

Для ПЧ VLT® дополнительные потери 20 кВт ч

Для ПЧ VLT® с фильтром дополнительные потери 2 кВт ч

Т.е. использование гармонического фильтра обеспечивает экономию электроэнергии порядка 18 кВт ч. В денежном выражении **экономия** за срок службы (~7 лет) от внедрения фильтра (срок службы 60000 ч) * (тариф 3 р /кВт ч) * 18 кВт ч =

3 240 000 руб.

Преимущества использования фильтров гармоник

использование фильтров	преимущества	пример для ПЧ 800 кВт
Гарантия длительного срока службы оборудования и бесперебойной работы	Выполнение требований ГОСТ 13109-1997 питающего напряжения	Стоимость ПЧ 3 800 000 руб, стоимость трансформатора 1 000 000 руб.
Отсутствие переразмеривания трансформатора	нет необходимости завышать мощность трансформатора на 25%	150 000 руб за след. типоразмер
Снижение реактивной мощности	увеличение $\cos \varphi \sim$ на 0,1 до 0,98	30 000 руб/год
Снижение сечения питающих кабелей	снижение сечения на 1 типоразмер	50000 руб/ 10м
Снижение потерь в трансформаторе	снижение активных потерь > чем в 10раз	220 000 руб/год
Экономия		200 000 руб. сразу, 250 000 руб в год
		Отсутствие риска потерять 4 800 000 руб
Стоимость фильтра		1 200 000 руб

* данные выкладки справедливы если трансформатор находится у потребителя