



IoT **INDUSTRY 4.0** Ready  
СДЕЛАНО В ИТАЛИИ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ

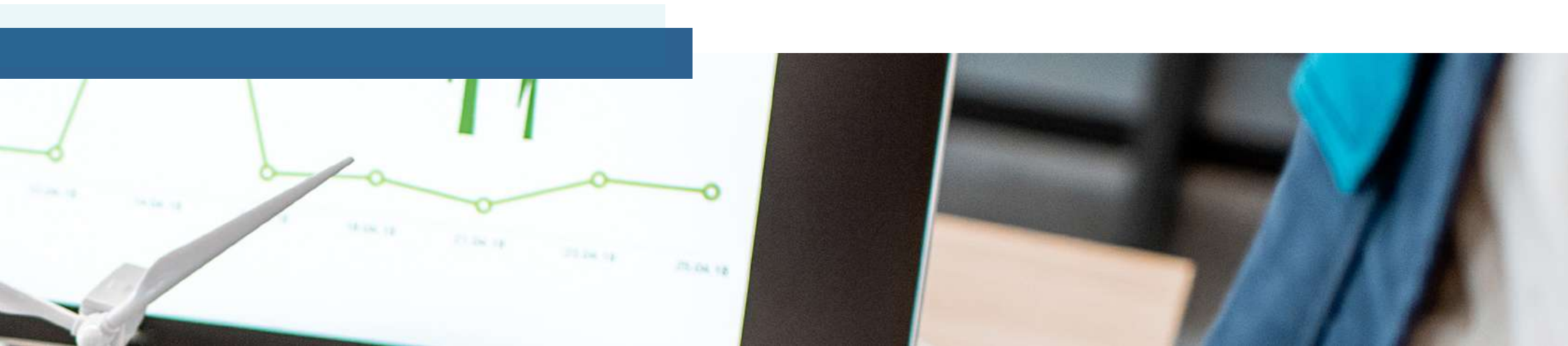


отдел энергоэффективности



# » СОДЕРЖАНИЕ /

<b>1. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ПОСТАВКАМИ .....</b>	<b>4</b>	<b>3. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>18</b>
1.1 ПЕРЕХОД К ЦИФРОВОЙ ЭРЕ .....	4	3.1 ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ .....	18
1.2 РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА .....	5	3.2 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	18
1.3 ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ ИЛИ ПОНИЖЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ .....	6	3.3 ГАРМОНИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ .....	19
1.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ .....	7	3.4 ФИЛЬТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ .....	20
1.5 БАЛАНСИРОВКА ФАЗ .....	9	3.5 ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ .....	20
1.6 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	10	<b>4. АНТ .....</b>	<b>21</b>
<b>2. РЕАКЦИЯ НА НАГРУЗКУ .....</b>	<b>11</b>	4.1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ .....	21
2.1 ПРЕДИСЛОВИЕ .....	11	4.2 ТЕКУЩИЙ ПРОЕКТ .....	22
2.2 СТАЦИОНАРНОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ НА ОМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ .....	12	4.3 ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ .....	25
2.3 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	14		
2.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ .....	16		



## 1. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ПОСТАВКАМИ

За последние несколько лет мы стали свидетелями двух очень важных явлений в глобальном распределении и использовании электроэнергии:

- Переход к цифровой эре
- Распределенная энергетика

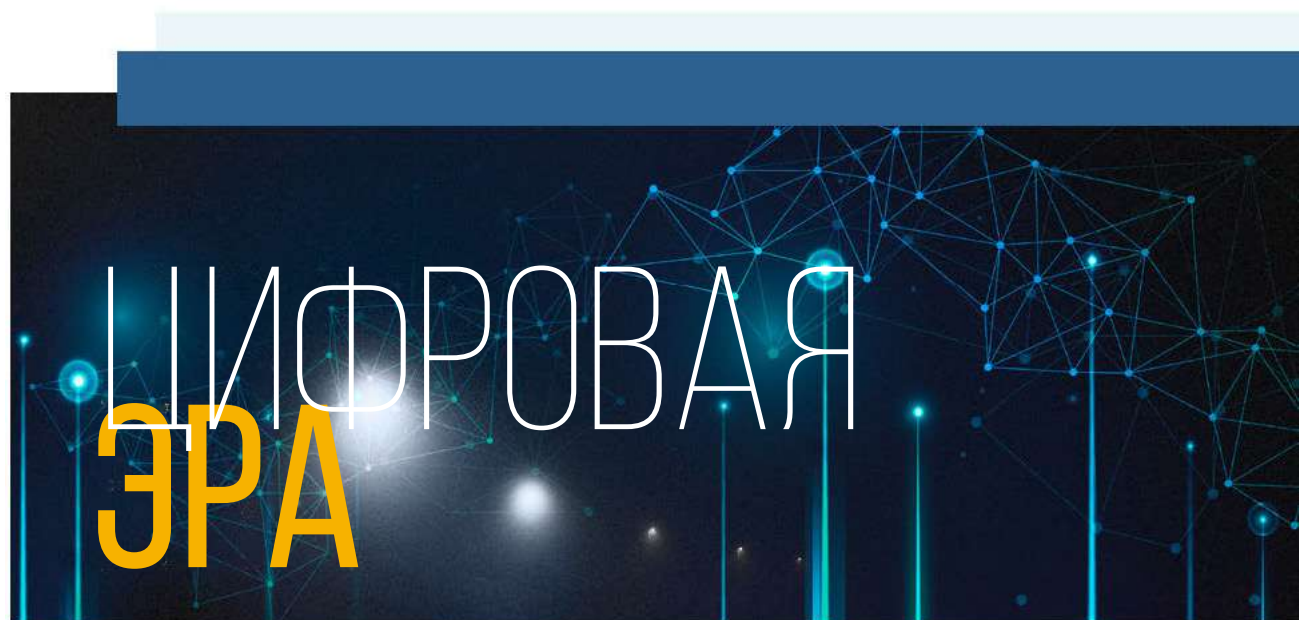
Эти два явления оказывают серьезное влияние на распределение электроэнергии и правильное управление ею.

Давайте проанализируем их подробнее.

### 1.1 ПЕРЕХОД К ЦИФРОВОЙ ЭРЕ

Чуть более десяти лет назад во всех областях началась настоящая революция, связанная со все более широким использованием цифровых технологий для повышения производительности систем, используемых для выполнения важнейших технологических функций. Компьютеры сегодня интенсивно используются на всех объектах и во всех сферах, от бытовой среды до самых сложных промышленных процессов. В настоящее время все широко используемые машины контролируются и управляются полностью цифровыми компьютеризированными системами. Мало того, в нашу жизнь проникают инструменты, которые еще несколько лет назад были просто немыслимы (планшеты, смартфоны и т.д.). Даже такие базовые понятия, как освещение, все

чаще переходят на цифровые технологии, особенно с появлением светодиодов. Позже мы рассмотрим последствия этого явления для энергетических проблем и эффективного управления энергией, а пока отметим, что все более массовое развитие цифровых технологий порождает все большее присутствие нелинейных нагрузок, подключенных к нашим станциям.



## 1.2 РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В последние годы, особенно в Европе, но в любом случае и во всем мире, производство электроэнергии претерпевает значительные изменения. Всего два десятилетия назад производство электроэнергии было в основном централизованным, особенно благодаря использованию атомной энергии, что дало возможность создавать крупные электростанции для обслуживания все более обширной и энергоемкой базы потребителей. Однако в последние годы произошла значительная революция в производстве электроэнергии, в основном благодаря фотоэлектричеству, которая, в том числе благодаря сильной политике стимулирования, все больше входит в нашу жизнь, но и другие технологии, такие как энергия ветра, гидроэлектроэнергия, когенерация и т.д., также переживают все большее развитие.

То, как это явление повлияет на передачу энергии конечным потребителям, выходит за рамки данного обсуждения, но, безусловно, интересно сначала оценить, в чем заключаются основные различия между двумя подходами. Чтобы упростить обсуждение, ниже мы приводим схему состояния сети электропередачи в двух случаях, чтобы качественно оценить влияние этого изменения на конечного потребителя:

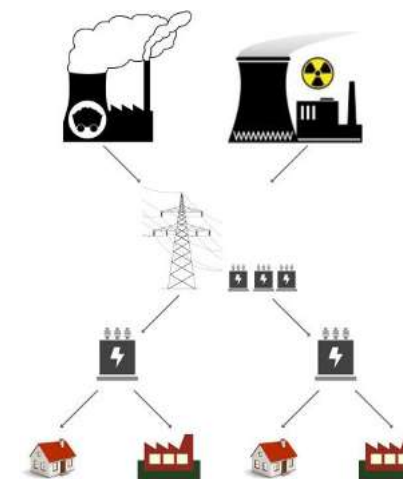


Рисунок 1: Централизованная сеть передачи энергии

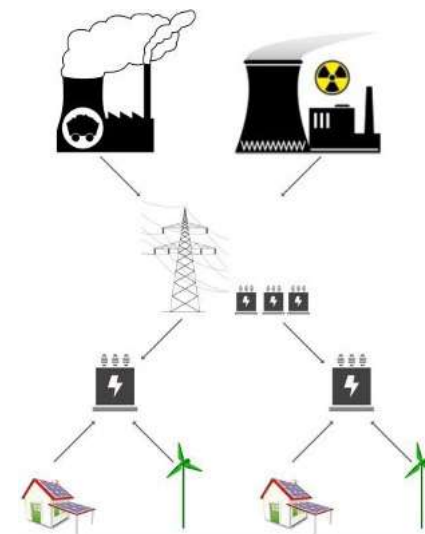


Рисунок 2: Распределённая сеть передачи энергии

Как видно из двух рисунков выше, самое важное различие, которое мы можем обнаружить, - топологическое. В частности, в случае распределенной энергетики, мощность, поступающая в сеть, всегда проходит через центральные распределительные системы, прежде чем попасть к конечным потребителям, в то время как в случае распределенной энергетики это не всегда так, на практике электроэнергия может обмениваться напрямую от генератора к потребителю без прохождения через централизованные распределительные системы. Это явление оказывает значительное влияние на качество электроэнергии, поставляемой генераторами, так как при отсутствии промежуточных этапов для распределительного оборудования мощность, поставляемая распределенными генераторами, менее эффективна, чем мощность, поставляемая централизованными генераторами. В последние годы в электротехнической и электротехнологической сфере все чаще можно услышать о качестве электроэнергии, под которым понимается качество мощности, передаваемой по линиям электропередачи потребителям.

### 1.3 ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ ИЛИ ПОНИЖЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Перенапряжение - это явление, при котором сеть передает энергию при напряжении, превышающем номинальное. Явление может быть переходным или стационарным. В первом случае отклонение от номинального значения происходит в течение нескольких мгновений или нескольких циклов, с

амплитудой от нескольких Вольт до сотен Вольт, часто вызванное переключением индуктивных нагрузок, трансформаторов под нагрузкой и т.д... Конечно, этот тип возмущений может также генерировать энергетическую неэффективность, но реальная проблема, связанная с этим типом возмущений, заключается в возможности повреждения устройств, подключенных к системе. Во втором случае помехи можно считать стационарными, если напряжение питания постоянно выше номинального рабочего напряжения, которое в Италии составляет 230 В для однофазных низковольтных систем и 400 В для трехфазных низковольтных систем. Даже в этом случае помехи могут в конечном итоге привести к повреждению устройств, подключенных к системе, хотя это явление должно быть связано с конструкцией самих устройств, которые должны иметь допуск на входное напряжение  $\pm 10\%$ . Но реальная проблема во многих случаях связана с энергоэффективностью. В частности, для большинства линейных нагрузок, подключенных к сети, повышение напряжения приводит к сокращению срока службы устройства и увеличению энергопотребления без ощутимого повышения производительности.



## 1.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ

Передача энергии в сети должна осуществляться посредством синусоидальной волны с частотой 50 Гц (в Италии) с номинальным напряжением 230 В, и эта волна, замыкаясь на линейных сопротивлениях, должна генерировать в электрической цепи ток, который также является синусоидальным с частотой 50 Гц, с амплитудой, зависящей от омической части сопротивления, и максимум сдвигом фазы относительно волны напряжения, зависящим от мнимой части самого сопротивления. Мы использовали условное наклонение применительно как к входному напряжению, так и к генерации тока в сети, поскольку в первом случае нет уверенности, что волна напряжения на входе будет идеально синусоидальной, но даже если это так, нет уверенности, что результирующая волна тока будет идеально синусоидальной. С математической точки зрения, рассматриваемая волна в любом случае является периодической, и поэтому ее можно разложить в ряд Фурье, представив в виде суммы бесконечных синусоидальных составляющих с разной частотой, амплитудой и фазой. Технически отдельные компоненты последовательного развития называются гармониками; в частности, синусоидальная волна на основной частоте также является гармоникой.

Если рассматривать любую электрическую цепь, питаемую чистой синусоидой и замкнутую только на линейные нагрузки, то, как мы только что говорили, результирующая волна тока будет иметь единственную

составляющую на частоте источника питания и не будет иметь гармонической составляющей на частоте, отличной от основной, тогда как в случае, когда хотя бы одна из нагрузок нелинейна, могут возникнуть гармоники тока на частоте, отличной от основной, пренебрегая явлением интергармоники в данный момент, для электрических нагрузок результирующими компонентами тока с большим вкладом обычно являются компоненты на частотах, кратных основной, поэтому произведенные гармоники могут быть численно упорядочены путем ссылки на кратность частоты, представляющей интерес, т.е., например, вторая гармоника - это гармоника на частоте, вдвое превышающей основную. Кроме того, для большинства нелинейных нагрузок, подключенных к сети (например, импульсных источников питания), гармониками с наибольшей амплитудой являются гармоники с нечетным порядком: третья, пятая, седьмая и т.д. Более того, в реальных случаях гармоники обычно имеют большой амплитудный вклад в младших порядковых числах и поэтому уменьшаются, т.е. в общем случае третья гармоника имеет большую амплитуду, чем пятая, пятая, чем седьмая, и т.д. Конечно, даже в этом случае необходимо анализировать отдельные ситуации, поскольку различные нелинейные нагрузки, подключенные к сети, могут генерировать различный гармонический вклад, и, следовательно, сумма этих вкладов может быть различной.

Ссылаясь на генерируемую волну тока, можно определить суммарные гармонические искажения следующим образом:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^{\infty} I_n - I_f}{I_f}$$

где:

**$I_t$**  - общий ток

**$I_f$**  - ток на основной частоте

То же самое относится и к волне напряжения:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^{\infty} V_n - V_f}{V_f}$$

И в целом за передаваемую энергию:

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

Этот показатель, как видно из названия, дает нам информацию об общем уровне искажений, присутствующих в осциллограммах. Естественно, чем больше значение превышает 0, тем дальше форма волны отходит от идеального случая. Наличие гармонических искажений само по себе также создает энергетические проблемы в установках. Фактически, можно показать, что искажение тока также влияет на форму волны напряжения, питающего нагрузки, и поэтому это явление также влияет на линейные нагрузки, подключенные

к системам, а также создает другие потери в системе в результате увеличения рассеиваемой мощности на импедансе линии и внутреннем импедансе генератора. В общем случае линейная нагрузка имеет практически бесконечную полосу пропускания, например, лампа накаливания преобразует всю подводимую к ней электрическую энергию в тепловую, а это значит, что если подать, например, на лампочку напряжение 5 В с частотой 400 Гц, нить накаливания в ней нагреется, и тепло выделится за счет эффекта Джоуля.

Проблема в том, что рассматриваемое преобразование не генерирует световое излучение в видимом диапазоне, вернее, оно будет генерировать минимальное количество светового излучения в видимом диапазоне и, возможно, другие излучения в диапазонах света, не видимых невооруженным глазом, например, в ультрафиолетовом или инфракрасном, поскольку нить накаливания рассчитана на работу на частоте сети.

Это имеет три очень важных следствия:

- Работа за пределами номинальных параметров может привести к преждевременному выходу устройства из строя.
- Поступающая световая энергия имеет нежелательную составляющую, поэтому можно сказать, что избыточная энергия не используется для выполнения работы, для которой предназначено устройство, а, по сути, является лишь помехой.
- Излучение, выходящее за пределы видимого света, может быть вредным для человеческого организма, который подвергается его воздействию.



Если учесть другие типы нагрузки, такие как электродвигатели, насосы и прочее, последствия могут быть еще хуже.

В результате такие искажения передают энергию нагрузкам, которые используют ее частично для выполнения работы, для которой они предназначены, а частично для создания неэффективности, повышающей вероятность выхода нагрузки из строя. Таким образом, помимо экономического ущерба, связанного с увеличением потребления энергии, существует также ущерб, связанный с сокращением срока службы самих устройств.

## 1.5 БАЛАНСИРОВКА ФАЗ

В случае трехфазных систем еще одним фактором, негативно влияющим на качество электроснабжения, является дисбаланс между фазами, т.е. разница между формами сигналов на отдельных фазах электросети, причем эти различия в общем случае могут быть связаны либо с напряжением основной частоты, либо с гармониками. Такие возмущения обычно возникают при смешении однофазных и трехфазных нагрузок в одной линии. Это явление имеет как энергетические последствия для подключенных трехфазных нагрузок, так и последствия с точки зрения эффективности и срока службы устройства. Из литературы в этой области мы узнали, что большинство неэффективных расходов приходится на трехфазные двигатели, подключенные к системе.

## 1.6 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Другой важной помехой, возникающей в нагрузках, подключенных к электросети, является сдвиг фаз между формой волны напряжения и формой генерируемого тока. Фазовый сдвиг между напряжением и током в целом сам по себе не создает энергетических проблем на нагрузках, или, по крайней мере, не создает проблем с точки зрения активной энергии, поглощаемой нагрузками, конечно, наличие фазового сдвига создает неэффективность и большую мощность на этапе передачи энергии. В общем случае даже линейная нагрузка, которая не является полностью омической, создает разность фаз тока по отношению к напряжению питания, либо с опережением, либо с задержкой, в зависимости от того, является ли данная нагрузка омически-емкостной или омически-индуктивной. Это приводит к передаче так называемой реактивной мощности. В частности, реактивная мощность - это мощность, которая не используется нагрузкой для совершения работы, а просто поддерживает магнитное поле. Проблема заключается в том, что реактивная мощность передается через индуктивный ток, что увеличивает нагрузку на электрические кабели, подключенные к сети, и, кроме того, большая циркуляция тока в цепи создает большие потери на последовательных сопротивлениях самой цепи, в частности, на внутреннем сопротивлении генератора и на сопротивлении линии, тем самым создавая омические потери (т.е. активную мощность) в самой системе.

Здесь важны 2 фактора, влияющие на энергетический и экономический баланс системы:

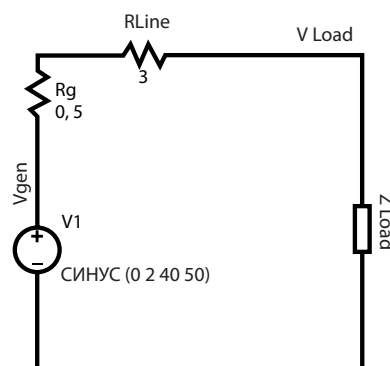
- В некоторых случаях использование реактивной энергии влечет за собой расходы для пользователя в виде штрафов по счёту.
- Циркулирующий реактивный ток приводит к рассеиванию активной энергии в линии.

Мало того, можно просто показать, что этот фактор также влияет на напряжение питания нагрузки, поскольку падение напряжения на линии приводит к снижению полезного напряжения на самой нагрузке при той же суммарной потребляемой мощности, другими словами, передача энергии становится крайне неэффективной. Очень часто, когда речь идет об электрических сетях, принято говорить о коэффициенте мощности, означаям соотношение между полной передаваемой мощностью (кажущейся мощностью) и активной мощностью, и этот коэффициент обычно путают с так называемым тарифом. В частности, последнее утверждение верно только в том случае, если рассматриваются только линейные нагрузки, поэтому для сети с линейными нагрузками тариф соответствует коэффициенту мощности. Однако в общем случае коэффициент мощности также учитывает суммарные гармонические искажения.

## 2. РЕАКЦИЯ НА НАГРУЗКУ

### 2.1 ПРЕДИСЛОВИЕ

В этом разделе мы проанализируем, в том числе с помощью моделирования, поведение нагрузок в присутствии вышеупомянутых возмущений. Для простоты рассмотрим электрическую цепь бытового типа с договорной мощностью 3 кВт, которую можно изобразить следующим образом: Для моделирования будет использована модель с сосредоточенными параметрами.



*В частности:*

- Rg - "внутреннее" сопротивление генератора
- RLine - это линейное сопротивление сети, обусловленное, главным образом, наличием силовых кабелей для распределения электроэнергии. Для простоты мы пренебрежем

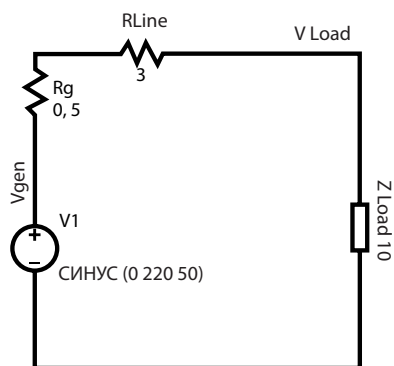
емкостными и индуктивными эффектами импеданса; установленное значение сопротивления 3 Ом соответствует примерно 350 м кабеля со средним сечением 2 кв. мм.

- Z Load - импеданс нагрузки, представленный в виде эквивалентного импеданса генератора. Рассматриваемую схему можно разделить на две части, одна из которых является частью источника питания, а другая - частью нагрузки.

Для того чтобы оценить энергетический баланс самой цепи, мы рассмотрим ряд факторов, которые будут полезны время от времени, но в целом мы сосредоточимся на активной мощности, выдаваемой генератором, и активной мощности, поглощаемой нагрузкой, чтобы мы могли оценить эффективность передачи энергии в различных ситуациях.

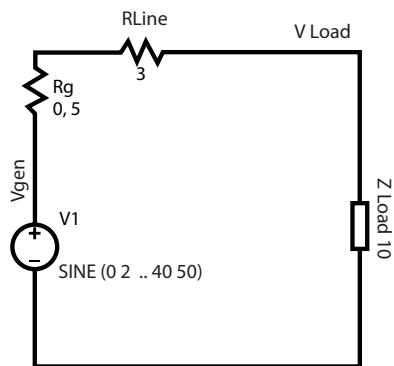
## 2.2 СТАЦИОНАРНОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ НА ОМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

В качестве первого примера рассмотрим наличие чисто омической нагрузки и проанализируем влияние на систему напряжения, превышающего оптимальное, при этом мы будем считать, что оптимальное напряжение составляет 220 В:



Активная мощность, выдаваемая генератором: 1785 Вт

Активная мощность, поглощаемая нагрузкой: 1322 Вт



Активная мощность, выдаваемая генератором: 2124 Вт

Активная мощность, поглощаемая нагрузкой: 1573 Вт

Подведем итоги:

ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ		
	Оптимальное напряжение сети	Высокое напряжение в сети
Напряжение питания:	220В	240В
Линейный ток:	16.28А	17.73А
Коэффициент мощности:	≈ 1	≈ 1
Суммарные гармонические искажения:	0%	0%
Резистивный импеданс нагрузки:	10 Ом	10 Ом
Выходная мощность генератора:	1785 Вт	2124 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	1322 Вт	1573 Вт

## Соображения

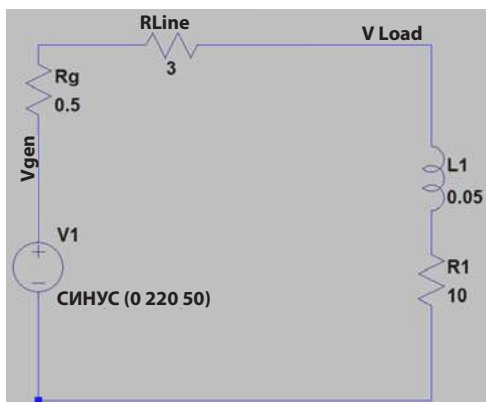
Прежде всего, следует учесть, что в рассматриваемом случае общая мощность, потребляемая генератором, примерно на 16% меньше в случае оптимального энергоснабжения. Естественно, из-за линейности цепи мощность, распределяемая на нагрузку, также на 16% ниже, но, как мы видели при рассмотрении влияния высокого напряжения на нагрузку, это не всегда приводит к увеличению эффективности нагрузки, например, если нагрузка представляет собой одну или несколько ламп накаливания, подключенных параллельно. Конечно, подача на них более высокого напряжения на основной частоте приведет к увеличению световой энергии в видимом диапазоне, но это также приведет к увеличению энергии в других диапазонах излучения светильника, поэтому общая световая мощность в видимом диапазоне будет увеличена не на 16%, а на меньший процент. Более того, выход за пределы оптимального диапазона напряжения для данного светильника означает сокращение срока его службы не на 16%, а гораздо больше: исследования компании Omron, проведенные на примере ламп накаливания, показали, что питание лампы на 240 В сокращает срок ее службы на 55% по сравнению с питанием на номинальном рабочем напряжении.

Еще один фактор, который необходимо учитывать, - это омические потери энергии в сети: в случае оптимального блока питания потери составляют  $(1785 - 1322)\text{Вт} = 463\text{Вт}$ , а в случае более высоковольтного блока питания -  $(2124 - 1173)\text{Вт} = 951\text{Вт}$ , опять же, с относительной точки зрения, потери в процентах одинаковы, но в

абсолютном значении потери мощности больше в случае более высокого напряжения, так как на линии рассеивается примерно на 100 Вт больше, что означает больше энергии, учитываемой на счетчике, и больший нагрев и неэффективность электрических кабелей.

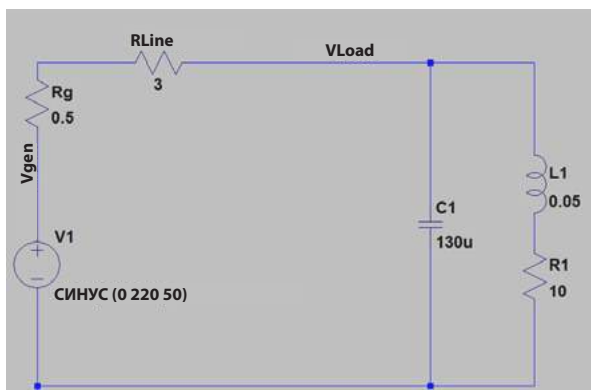
## 2.3 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Теперь рассмотрим наличие в цепи омическо-индуктивной нагрузки:



Выходная мощность генератора: 632 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 561 Вт

Мы вводим параллельно нагрузке емкостное сопротивление, чтобы получить из той же схемы эквивалентный омический импеданс, наблюдаемый от генератора:



Выходная мощность генератора: 758 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 573 Вт

Подведем итоги:

ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАПЯЖЕНИЯ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ		
	Омический эквивалент нагрузки	Эквивалентная нагрузка омическо-индуктивная
Напряжение питания:	220В	220В
Линейный ток:	5.73А	8.03А
Коэффициент мощности:	0.99	0.66
Суммарные гармонические искажения:	0%	0%
Выходная мощность генератора:	758 Вт	632 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	561 Вт	573 Вт



## Соображения

Для данного случая мы можем отметить два важных соображения:

1. Мощность, выдаваемая генератором в случае индуктивной омической нагрузки, примерно на 18% больше, чем в случае ее омического эквивалента.
2. Фактическая мощность, потребляемая нагрузкой, примерно на 3% выше.

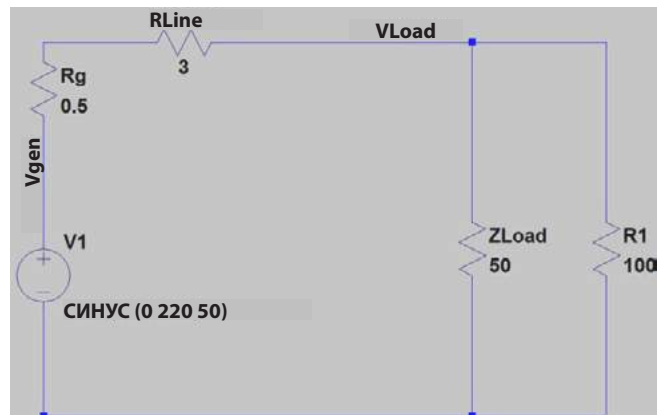
Первое утверждение позволяет нам сказать, что, улучшая коэффициент мощности цепи, мы также получаем значительную экономию общей потребляемой мощности, поэтому энергетический баланс в этом случае положительный, и мы также отмечаем, что сама нагрузка выигрывает, поскольку потребляемая ею мощность при тех же условиях немного выше, чем в предыдущем случае.

Естественно, это условие проверяется при напряжении питания 220 В, при более высоком напряжении проблема более сложная, поскольку включение индуктивной нагрузки приводит к сдвигу фаз с последующим падением напряжения на нагрузке из-за влияния сопротивления линии, естественно, при коррекции коэффициента мощности системы ситуация улучшается с энергетической точки зрения, но в действительности мы оказываемся в прежнем состоянии стационарного перенапряжения нагрузки, поэтому рассеяние на нагрузке должно быть в любом случае изменено, чтобы заставить ее работать в оптимальных условиях, этот

последний фактор дает еще большую экономию и поэтому является желательным элементом, который мы рассмотрим позже.

## 2.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ

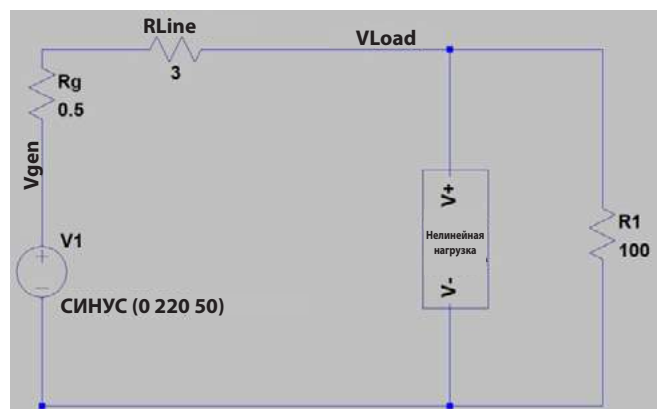
Теперь рассмотрим наличие в цепи смешанных линейных и нелинейных нагрузок:



Выходная мощность генератора: 654 Вт

Мощность, поглощаемая нагрузкой: 592 Вт

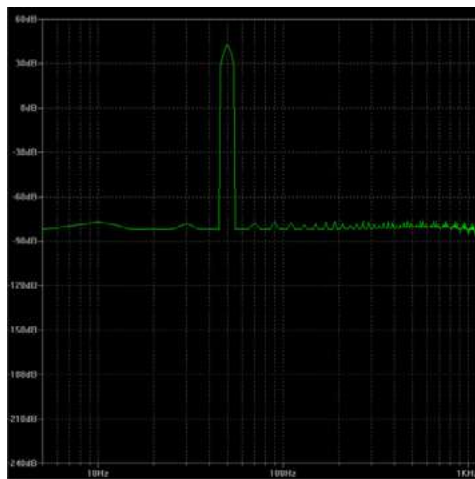
Заменим нагрузку 50 Ом на нагрузку той же мощности, но нелинейную:



Выходная мощность генератора: 656 Вт

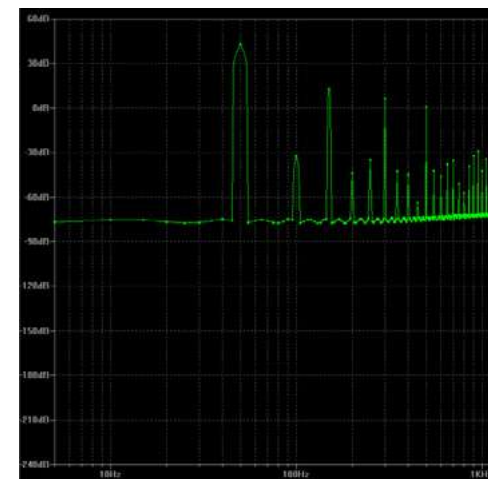
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 586 Вт

Давайте рассмотрим эту ситуацию подробнее, рассмотрим преобразование Фурье напряжения на нагрузке в полосе 0 - 1 кГц.



Полностью линейная цепь.

Суммарные гармонические искажения:  
0.000473%



Цепь с нелинейной нагрузкой

Суммарные гармонические искажения:  
3.550619%

Подведем итоги:

ИНДУКТИВНАЯ ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ГАРМОНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ		
	Омический эквивалент нагрузки	Эквивалентная нагрузка омическо-индуктивная
Напряжение питания:	220В	220В
Линейный ток:	4.21А	4.46А
Коэффициент мощности:	≈ 1	0.95
Суммарные гармонические искажения:	≈ 0%	3.55%
Выходная мощность генератора:	654 Вт	656 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	592 Вт	586 Вт

### Соображения

В данном случае можно отметить три соображения:

- Мощность генератора в случае нелинейной цепи примерно на 0,4 % выше, чем в случае ее омического эквивалента.
- Общая мощность, передаваемая в нагрузку, увеличивается примерно на 1%.
- Мощность, передаваемая в нагрузку на частоте 50 Гц, на 3,5 процента меньше, причем этот процент передается вне диапазона.

В этом случае нелинейная нагрузка генерирует циркулирующий ток с высоким содержанием внеполосных гармоник; сам по себе этот ток не создает проблем для других нагрузок, поскольку циркулирует только между генератором и соответствующей нагрузкой. Проблема заключается

в том, что изменение напряжения на импедансе линии также имеет высокое содержание гармоник, и поэтому на общее напряжение питания нагрузки влияют гармонические искажения, зависящие, как уже говорилось, от мощности искажающей нагрузки и импеданса линии. Естественно, эти искажения поглощаются омическими нагрузками и преобразуются в тепло, что, предположительно, не дает никаких преимуществ с точки зрения эффективности, а иногда и существенных недостатков с точки зрения срока службы устройства. Поэтому можно утверждать, что, хотя с точки зрения энергетического баланса, казалось бы, нет значительных отклонений (1%), с точки зрения эффективности нагрузок есть более существенные отклонения (3-4%), поэтому общая мощность, поглощаемая нагрузкой, практически на 5% ниже, если учитывать мощность, полезную для работы (мощность, отдаваемую при частоте 50 Гц).

## 3 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 3.1 ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Оптимизация напряжения - это энергосберегающий метод, который заключается в установке трансформатора последовательно с питающей линией, чтобы уменьшить или увеличить напряжение, доступное для нагрузки.

Оптимизация может происходить статически или динамически в зависимости от того, снижается ли напряжение фиксировано на определенный процент или динамически изменяется во время нормальной работы схемы.

В случае особых нелинейных нагрузок (например, импульсных источников питания) снижение напряжения может даже привести к росту потребления. Фактически, эти нагрузки работают с постоянной мощностью, то есть они всегда потребляют одно и то же количество энергии даже при изменении напряжения, поэтому снижение напряжения приводит к увеличению тока в узле, а значит, и в линии, а этот ток, естественно, увеличивает потери в кабелях передачи и, следовательно, в линии, этот ток, естественно, увеличивает потери в кабелях передачи.

### 3.2 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Коррекция коэффициента мощности определяется как любая мера, используемая для увеличения (или, как принято говорить, улучшения) коэффициента мощности ( $\cos \phi$ ) данной нагрузки, чтобы уменьшить значение тока, циркулирующего в системе при той же поглощаемой активной мощности. Целью коррекции коэффициента мощности является, прежде всего, снижение потерь энергии и уменьшение поглощаемой мощности в соответствии с существующим оборудованием и линиями на промышленной площадке. Смена коэффициента мощности установок приобрела большую важность, поскольку энергетическая компания ввела договорные условия в рамках тарифных мер Межминистерского комитета по ценам (№ 12/1984 и № 26/1989), обязывающие пользователя переналаживать свою установку под угрозой штрафа. В цепях с особыми потребителями, такими как лампы накаливания, водонагреватели, некоторые типы печей, кажущаяся потребляемая мощность - это вся активная мощность. В цепях с потребителями, внутри которых имеются обмотки, таких как двигатели, сварочные аппараты, балласты для люминесцентных ламп, трансформаторы, часть поглощаемой кажущейся мощности используется для возбуждения магнитных цепей и поэтому не используется как активная мощность, а как мощность, обычно называемая реактивной мощностью. С точки зрения общего энергетического баланса, коррекция коэффициента мощности уменьшает количество

реактивной энергии, поглощаемой цепью, но не уменьшает непосредственно используемую активную энергию, т.е. уменьшение активной энергии в целом является следствием того, что потери в проводниках уменьшаются, поскольку последовательное сопротивление самих проводников пересекается с меньшим общим током, но в действительности не вся активная энергия сохраняется, поскольку меньшее рассеяние на проводниках приводит к меньшему падению напряжения на нагрузке, а в случае омической нагрузки это означает большее рассеяние энергии.

Однако ясно, что в этом случае избыток энергии положителен для нагрузки, если только мы не имеем дело со стационарными перенапряжениями. Коррекция коэффициента мощности нагрузок может быть централизованной, распределенной или смешанной: в первом случае вся система корректируется перед нагрузкой и перед генератором, поэтому на выходе генератора стоимость улучшается, но не обязательно улучшаются все звенья цепи; во втором случае корректируется коэффициент мощности нагрузки по отдельности, что приводит к улучшению общей стоимости после генератора; в третьем случае используется смешанное решение между первыми двумя. Обычно коррекция коэффициента мощности нагрузки достигается путем размещения генератора реактивной мощности параллельно нагрузке в противофазе с реактивной мощностью нагрузки, так что выходная реактивная мощность аннулируется. Простейшим генератором реактивной мощности в синусоидальных цепях является конденсатор, поэтому

один или несколько конденсаторов устанавливаются параллельно нагрузкам, чтобы добиться улучшения стоимости. Однако существуют и другие методы, такие как статические компенсаторы или активные фильтры.

### 3.3 ГАРМОНИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Фильтрация гармоник в энергосистемах обычно осуществляется путем включения в цепь устройств, снижающих суммарные гармонические искажения обычно в токе, чтобы также улучшить влияние искажений на напряжение. Существует 2 основные категории фильтров, подходящих для этой цели:

- **Пассивные фильтры**
- **Активные фильтры**

В первом случае существует дополнительное различие между настроенными и индуктивными фильтрами. Настроенные фильтры - это специальные фильтры  $rlc$ , настроенные на определенную частоту и обычно подключенные к земле. В некоторых случаях могут использоваться полосовые или высокочастотные фильтры, чтобы создать низкоомный путь к земле для помех на этих частотах и устранить помехи в их источнике. В случае сетевых дросселей, с другой стороны, принцип работы заключается в LR-фильтрах низких частот. Фактически сетевой дроссель образует с нижележащей омической цепью фильтр низких частот, который не пропускает энергию на частотах, далеких от 50 Гц. Такое решение, конечно, улучшает ситуацию на нагрузке,

снижая коэффициент суммарных гармонических искажений, но с точки зрения энергетического баланса ситуация остается неизменной, ведь помехи направляются на землю, пройдя через счетчик, и поэтому энергия, перенаправленная на землю, по-прежнему учитывается. С точки зрения нагрузки активные фильтры представляют собой параллельные генераторы тока, которые инжектируют ток, равный и противоположный току нагрузки, вносящей внеполосные искажения, и таким образом гасят гармонические токи, генерируемые самой нагрузкой.

Они работают, модулируя напряжение в сети, анализируют ситуацию в сети и вводят компенсационные токи. Естественно, чтобы правильно ввести эти токи, им нужна очень высокая частота коммутации, более чем в два раза превышающая частоту максимальной гармоники компенсации, поэтому им нужны особенно эффективные и быстрые внутренние устройства, обычно используются IGBT для работы на требуемой частоте переключения. Это, естественно, делает такие устройства особенно дорогими. Кроме того, с точки зрения энергетического баланса ситуация аналогична случаю с пассивными фильтрами, поскольку в зависимости от эффективности фильтров  $i$ , эквивалентное количество энергии поглощается для компенсации возмущений. Интересно то, что активные фильтры могут также повышать стоимость системы, поскольку они также работают как генераторы реактивной мощности. Кроме того, еще один очень интересный аспект заключается в том, что фильтры даже разной мощности могут быть включены параллельно и при этом не нарушать работу схемы и не вызывать резонанса.

### 3.4 ФИЛЬТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Фильтр электромагнитных помех - это пассивный фильтр, используемый в большинстве электронных устройств, позволяющий им соответствовать нормам электромагнитной совместимости, особенно тем, которые касаются кондуктивных излучений. По сути, фильтр электромагнитных помех - это низкочастотный фильтр, который подключается в качестве последнего каскада между оборудованием и источником питания, чтобы ослабить шумовые компоненты, которые склонно излучать любое электронное устройство. Очевидно, что фильтр должен быть прозрачным на частоте питания (50-60 Гц), чтобы устройство функционировало должным образом, в то время как он должен действовать в частотном диапазоне, установленном стандартом (150 кГц-30 МГц).

### 3.5 ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ

На рынке существует ряд устройств, позволяющих профилировать потребление пользователей, то есть понять, как они расходуют электроэнергию в течение определенного интересующего их периода. Конечно, сами по себе такие системы не улучшают энергопотребление пользователя, но они имеют два важных последствия, которые позволяют оптимизировать потребление:

- Осведомленность пользователей о потреблении может привести к повышению внимания и экономии.



- Внедрение экспертной системы, анализирующей и обрабатывающей эти данные, может привести к более эффективному управлению энергопотреблением и существенной экономии, не меняя привычек потребления.

## 4. ANT

### 4.1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

Прежде чем перейти к рассмотрению преимуществ проекта, необходимо сделать некоторые пояснения по проблемам, которые мы рассматривали в предыдущих главах, и решениям, представленным на рынке в настоящее время.

Затем мы рассмотрели системы оптимизации напряжения. На рынке представлены различные типы таких систем, хотя на практике они представляют собой устройства, которые просто снижают напряжение в сети, некоторые статически, другие динамически, последние включают стабилизаторы напряжения. Очевидно, что в этом случае система оптимизации напряжения может быть полезна для экономии средств, но нужно быть очень внимательным к тому, как она работает. Статическое понижение напряжения, конечно, не является эффективным решением, поскольку повышение или понижение напряжения обычно зависит от условий нагрузки. Конечно, в этом случае необходимо следить за

состоянием питающей линии, так как это может создать проблемы в работе или повредить сами нагрузки. На практике перенапряжение или стационарное пониженное напряжение могут быть положительными или отрицательными для системы в зависимости от того, имеем ли мы дело с нагрузками переменной мощности или постоянной мощности (питаемые - нелинейные), для которых правильный режим работы не может быть предсказан априори.

Затем мы изучили системы коррекции и фильтрации коэффициента мощности, и снова нам предстоит сделать много уточнений с точки зрения энергетики и безопасности установки. В частности, предположим, что мы имеем дело с системой с преимущественно омическо-индуктивной нагрузкой и при наличии стационарного перенапряжения, в этом случае, в зависимости от коэффициента мощности нагрузки, будет наблюдаться падение напряжения определенной величины между генератором и самой нагрузкой, это падение напряжения может привести нагрузку к номинальному значению напряжения, внедрение системы коррекции коэффициента мощности и фильтрации дает увеличение коэффициента мощности, следовательно, снижение тока в последовательной ветви цепи и, следовательно, увеличение полезного напряжения на нагрузке. Последнее очень часто приводит к большей трате активной энергии в зависимости от соотношения импеданса линии и импеданса нагрузки. То же самое относится, как мы смогли убедиться в результате моделирования, к гармоническому вкладу в линейные токи и напряжения, в данном случае усиленному и

усугубленному тем, что при наличии гармонических возмущений возникает проблема безопасности нагрузок и всей системы.

Проект ANT родился из необходимости объединить положительный вклад отдельных рассматриваемых технологий в единый продукт. Настоящей новинкой и важнейшей добавленной стоимостью продукта является именно динамический подход к управлению нагрузкой. В частности, устройство способно мгновенно анализировать электрическую сеть, к которой оно подключено, с точки зрения как электропитания, так и нагрузки, и оптимально питать нагрузку в любой рабочей конфигурации. Устройство способно анализировать параметры сети с точностью до 0,1% как по спектрам напряжения, так и по спектрам тока, и, анализируя уровень излучения нагрузок, понимать внутренний состав сети, а также интерпретировать вклад отдельных импедансов, с особым учетом разницы между импедансами нагрузки и передаточными и паразитными импедансами, так что устройство способно оптимизировать передачу мощности на импедансы нагрузки, минимизируя передаточные и паразитные потери.

Проект ANT был создан в ответ на растущую потребность в оптимизации передачи энергии между любым электрическим генератором и сетью подключенных к нему нагрузок.

В данном контексте под оптимизацией мы понимаем ряд мер по улучшению качества электроэнергии на входе в систему и компенсации негативных эффектов, вызванных вводом нагрузок, как мы видим из проанализированных симуляций.

Следует отметить, что в настоящее время, в том виде, в котором система существует, не существует равноценных альтернативных решений, но есть продукты-заменители, приближенные к предлагаемому решению.

## 4.2 ОПИСАНИЕ ТЕКУЩЕГО ПРОЕКТА / УСТРОЙСТВА

Система для адаптации импеданса электрических цепей потребителей к импедансу генератора, для повышения эффективности установок, защиты устройств и экономии энергии.

Подключившись к электросети, устройство способно анализировать все параметры работы сети, как внешнее качество электроэнергии, так и внутренние факторы возмущения. Он может ослаблять помехи и использовать энергию для оптимизации напряжения и внутренних токов. Он также способен сбалансировать профиль нагрузки по фазам и напряжениям питания, поэтому он также способен сбалансировать трехфазные токи. Профиль работы полностью настраивается и может управляться удаленно, как и данные анализа сети. Продукт включает в себя базовый вариант под названием ANT версии 2.1, вариант TG, включающий в себя функции удаленного управления устройством, о чем подробнее сказано выше, и вариант TL, включающий в себя функции удаленного чтения, о чем подробнее сказано выше.

Устройство подключается к системе, будь то бытовая или коммерческая, ниже по течению от счетчика и на входе в первичную распределительную линию. Подключившись к цепи, способно рассчитать сопротивление, с которым счетчик взаимодействует с цепью, и оптимизировать это сопротивление, чтобы улучшить передачу энергии между счетчиком и системой, эффективно снижая энергию, рассеиваемую системой из-за факторов, не связанных с использованием самих устройств. Кроме того, устройство работает как оптимизатор качества электроэнергии по отношению к входящей линии. Качество электроэнергии - это свойство электросети эффективно передавать энергию потребителям и максимально исключать потери.

### **Удаленное управление**

Устройство с дистанционным управлением включает в себя все основные функции с дополнительной возможностью полного дистанционного управления всеми установленными приборами. Удаленное управление устройствами очень важно для улучшения рабочих параметров устройства, так как существует возможность удаленно перенастроить каждое отдельное устройство в соответствии со стандартной рабочей ситуацией. Кроме того, с помощью удаленного управления можно в любой момент из собственного офиса получить полную картину рабочего состояния устройств и, при необходимости, обойти каждое устройство, отключив его от системы, к которой оно подключено. Кроме того, в случае поломки устройства можно получить информацию о типе неисправности,

а если какая-либо деталь сломалась внутри, то можно заранее узнать, какая деталь нуждается в замене, и обеспечить более точное и эффективное обслуживание, естественно, с возможностью связаться с клиентом напрямую и сообщить ему о неисправности и об оказании услуг.

### **Мониторинг**

Продукт, разумеется, оснащен сетью внутренних датчиков, которые проверяют функционирование всех отдельных внутренних компонентов для мониторинга всех рабочих параметров устройства и, таким образом, способны немедленно определить наличие каких-либо аномалий или сбоев в работе системы и сообщить в сервисную службу о возникшей проблеме и возможных решениях, которые необходимо применить для ее оперативного устранения.

### **Программное обеспечение**

С архитектурной точки зрения, телеуправляемый продукт состоит из центрального выделенного сервера, который взаимодействует со всеми устройствами, чтобы всегда знать ситуацию и рабочие параметры всех подключенных устройств. Кроме того, компания имеет возможность в любое время получить доступ к программному обеспечению и проверить состояние всех устройств, а также изменить конфигурацию каждого отдельного устройства и, при необходимости, отключить его от системы - все это просто и быстро. Существует также возможность предоставления

специализированного программного обеспечения другим пользователям, обслуживающим отдельные зоны, чтобы они могли управлять всеми устройствами в своей зоне. Разумеется, в каждом случае и компания, и поставщик услуг получают уведомления о возможных неисправностях устройств, а возможно, и сервисные заявки, которые необходимо обработать.

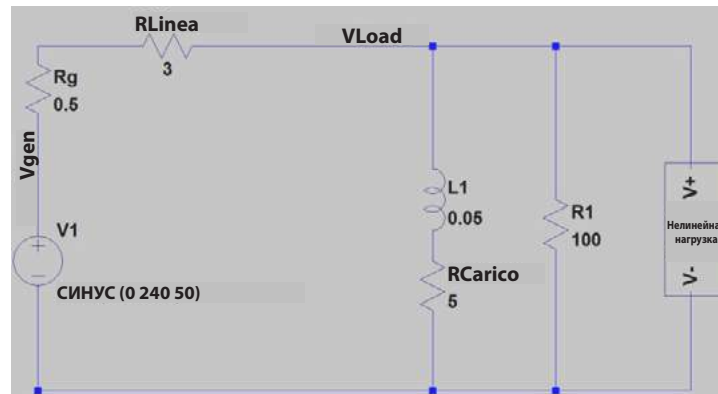
### **Удаленное считывание**

Изделие с дистанционным снятием параметров включает в себя все функциональные возможности телеуправляемого продукта, а также возможность получения всех данных о потреблении пользователя, и все это на единой, простой и функциональной платформе. Функции удаленного считывания доступны компании, они также могут, по усмотрению компании, быть доступны сервисной сети, но прежде всего они могут быть доступны отдельным пользователям, владеющим устройством. Пользователи могут получить удобный доступ к своим профилям потребления как через веб-сайт компании, так и через смартфоны и планшеты с помощью одного простого и интуитивно понятного интерфейса. Новшество заключается в том, что благодаря системе можно отслеживать не только потребление электроэнергии, но и воды, газа, а также управлять данными о производстве любых возобновляемых источников энергии в недвижимости, таких как фотоэлектрические, мини-ветровые, солнечные тепловые и другие системы.

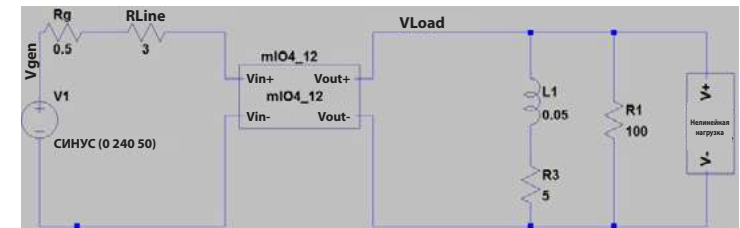


## 4.2 ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Теперь посмотрим, как система взаимодействует с электрической системой, моделируя реальную ситуацию, в которой присутствуют стационарные перенапряжения, сдвиг фаз и наличие нелинейных нагрузок. В данном случае, как видно из диаграммы, мы не учитываем нелинейность линии электропередач, то есть не учитываются возмущения извне, а только возмущения, генерируемые во внутренней линии:

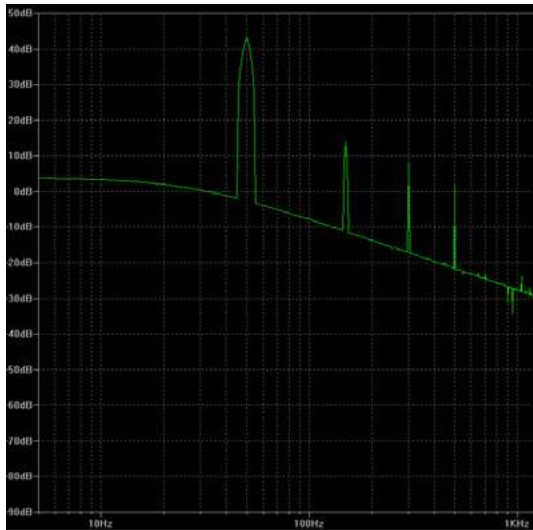


Выходная мощность генератора: 1094 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 738 Вт

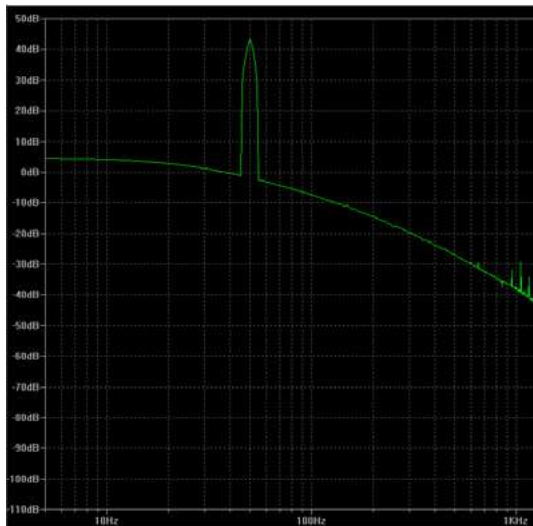


Выходная мощность генератора: 843 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 756 Вт

Анализ гармоник напряжения питания нагрузки (VLoad):



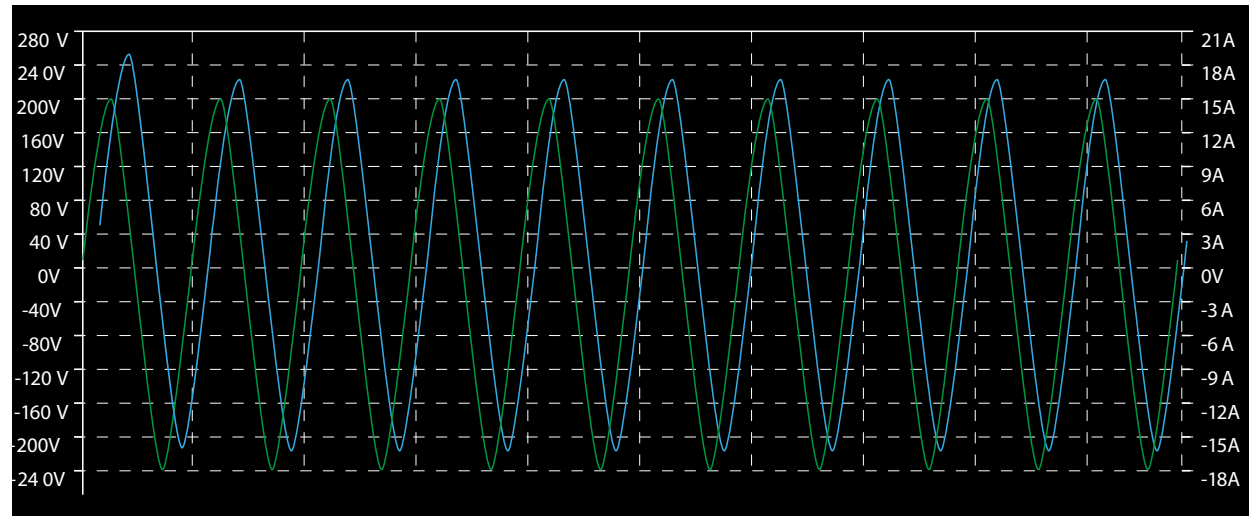
Суммарные гармонические искажения: 3.479955%



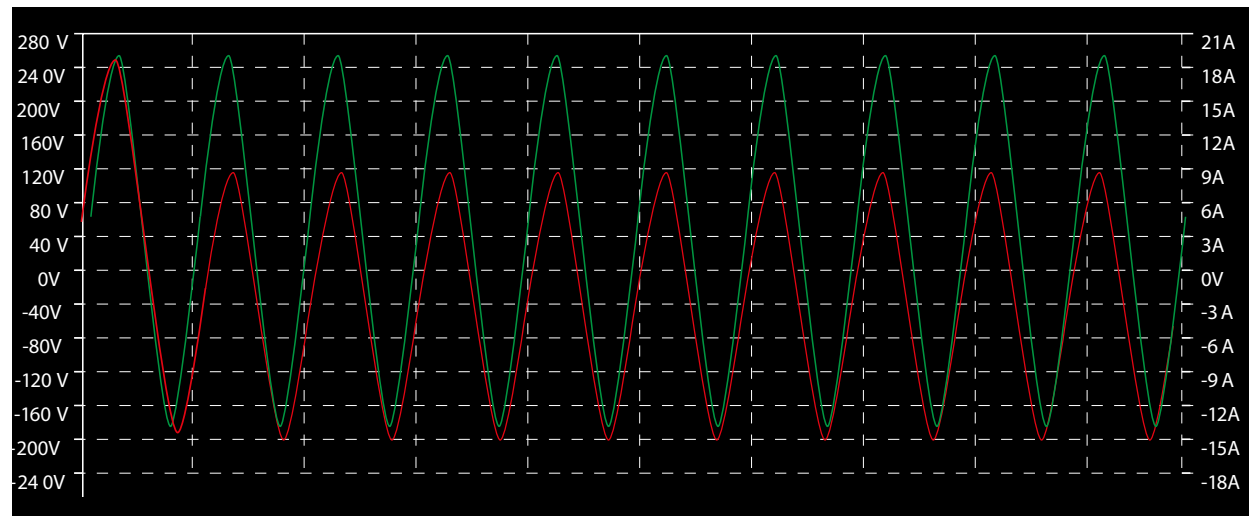
Суммарные гармонические искажения: 3.479955%

Результирующие формы сигналов:

Без ANT:



С ANT





## Эффекты установки АНТ

	Без АНТ	С АНТ
Напряжение питания:	240В	240В
Линейный ток:	10А	5А
Коэффициент мощности:	0.64	0.99
Суммарные гармонические искажения:	3.5%	0.01%
Активная мощность, выдаваемая генератором:	1094 Вт	843 Вт
Активная мощность, рассеиваемая на нагрузке:	738 Вт	756 Вт

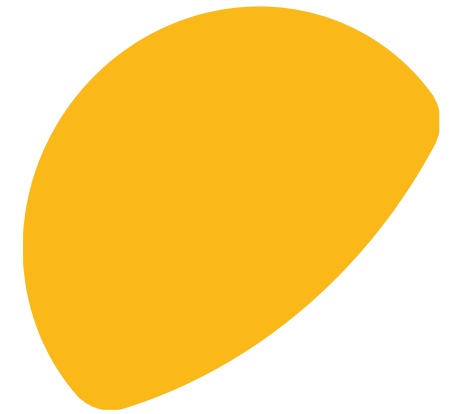
### СООБРАЖЕНИЯ

- Активная мощность, распределяемая генератором без системы, составляет более 18%;
- КПД на нагрузке составляет около 3% при активации системы
- Суммарные гармонические искажения напряжения на нагрузке при включенном устройстве незначительны, иначе они составляли бы около 3,5%. Таким образом, нагрузка на систему (50 Гц) оптимизируется более чем на 3%.
- Коэффициент мощности контура значительно увеличивается и приближается к максимально допустимому значению.
- После включения системы циркулирующий ток уменьшается примерно на 50 процентов, и, следовательно, потери в кабеле значительно ниже.

» Пишется  
ESE, читается  
EASY, легко  
как экономить  
энергию.



» **Откройте для себя  
мир ESE  
и все возможности  
для вашего бизнеса!**





**Зарегистрированный офис**  
Корсо Джузеппе Гарибальди, 86  
20121 Милан (провинция  
Милана) Италия

**Административный штаб**  
Виа Сан-Мартино, 87  
Парко-дей-Чильеджи  
82016 Монтесарчио (провинция  
Беневенто) Италия

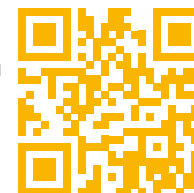
+39 02 87.368.229  
+39 02 87.368.222

[info@ese.energy](mailto:info@ese.energy)

техническая помощь  
[service@ese.energy](mailto:service@ese.energy)

К.Ф. и П.И: 08999150967  
Экономико-административный  
реестр: MI2061570

[www.ese.energy](http://www.ese.energy)    
*следите за нами на*



Отсканируйте qr-код  
и откройте для себя **ESE.**  
**ENERGY**

деловой партнёр



IoT **INDUSTRY 4.0** Ready  
СДЕЛАНО В ИТАЛИИ

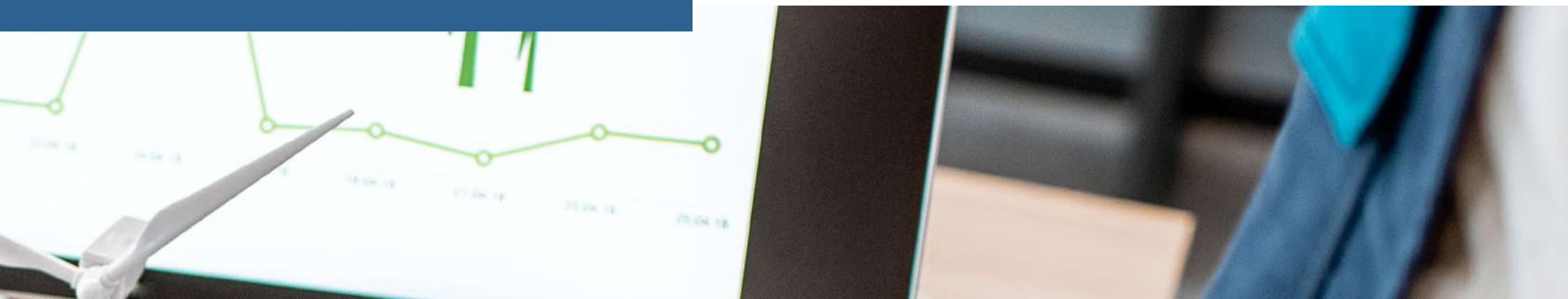
ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ





# » СОДЕРЖАНИЕ /

<b>1. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ПОСТАВКАМИ .....</b>	<b>4</b>	<b>3. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>18</b>
1.1 ПЕРЕХОД К ЦИФРОВОЙ ЭРЕ .....	4	3.1 ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ .....	18
1.2 РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА .....	5	3.2 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	18
1.3 ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ ИЛИ ПОНИЖЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ .....	6	3.3 ГАРМОНИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ .....	19
1.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ .....	7	3.4 ФИЛЬТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ .....	20
1.5 БАЛАНСИРОВКА ФАЗ .....	9	3.5 ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ .....	20
1.6 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	10	<b>4. АНТ .....</b>	<b>21</b>
<b>2. РЕАКЦИЯ НА НАГРУЗКУ .....</b>	<b>11</b>	4.1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ .....	21
2.1 ПРЕДИСЛОВИЕ .....	11	4.2 ТЕКУЩИЙ ПРОЕКТ .....	22
2.2 СТАЦИОНАРНОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ НА ОМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ .....	12	4.3 ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ .....	25
2.3 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	14		
2.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ .....	16		





## 1. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ПОСТАВКАМИ

За последние несколько лет мы стали свидетелями двух очень важных явлений в глобальном распределении и использовании электроэнергии:

- Переход к цифровой эре
- Распределенная энергетика

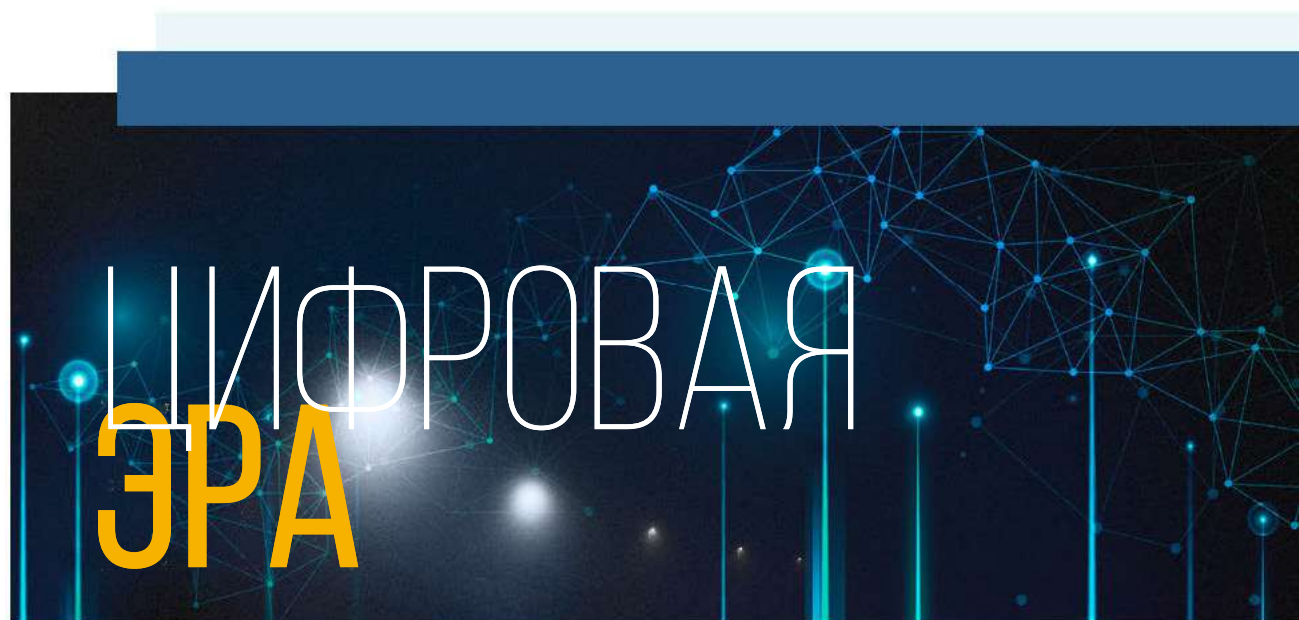
Эти два явления оказывают серьезное влияние на распределение электроэнергии и правильное управление ею.

Давайте проанализируем их подробнее.

### 1.1 ПЕРЕХОД К ЦИФРОВОЙ ЭРЕ

Чуть более десяти лет назад во всех областях началась настоящая революция, связанная со все более широким использованием цифровых технологий для повышения производительности систем, используемых для выполнения важнейших технологических функций. Компьютеры сегодня интенсивно используются на всех объектах и во всех сферах, от бытовой среды до самых сложных промышленных процессов. В настоящее время все широко используемые машины контролируются и управляются полностью цифровыми компьютеризированными системами. Мало того, в нашу жизнь проникают инструменты, которые еще несколько лет назад были просто немыслимы (планшеты, смартфоны и т.д.). Даже такие базовые понятия, как освещение, все

чаще переходят на цифровые технологии, особенно с появлением светодиодов. Позже мы рассмотрим последствия этого явления для энергетических проблем и эффективного управления энергией, а пока отметим, что все более массовое развитие цифровых технологий порождает все большее присутствие нелинейных нагрузок, подключенных к нашим станциям.



## 1.2 РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В последние годы, особенно в Европе, но в любом случае и во всем мире, производство электроэнергии претерпевает значительные изменения. Всего два десятилетия назад производство электроэнергии было в основном централизованным, особенно благодаря использованию атомной энергии, что дало возможность создавать крупные электростанции для обслуживания все более обширной и энергоемкой базы потребителей. Однако в последние годы произошла значительная революция в производстве электроэнергии, в основном благодаря фотоэлектричеству, которая, в том числе благодаря сильной политике стимулирования, все больше входит в нашу жизнь, но и другие технологии, такие как энергия ветра, гидроэлектроэнергия, когенерация и т.д., также переживают все большее развитие.

То, как это явление повлияет на передачу энергии конечным потребителям, выходит за рамки данного обсуждения, но, безусловно, интересно сначала оценить, в чем заключаются основные различия между двумя подходами. Чтобы упростить обсуждение, ниже мы приводим схему состояния сети электропередачи в двух случаях, чтобы качественно оценить влияние этого изменения на конечного потребителя:

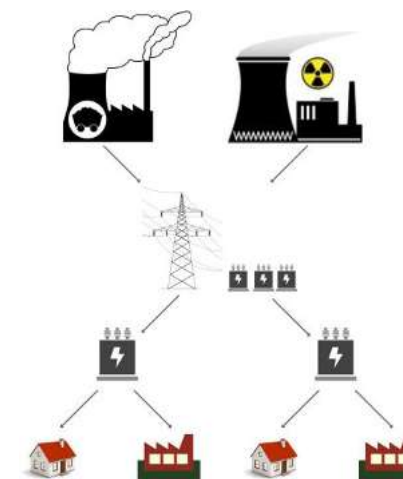


Рисунок 1: Централизованная сеть передачи энергии

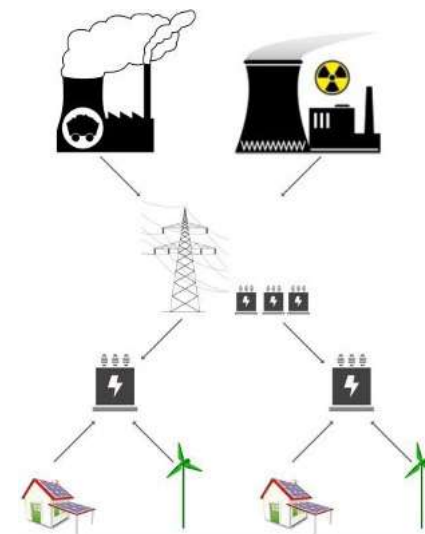


Рисунок 2: Распределённая сеть передачи энергии

Как видно из двух рисунков выше, самое важное различие, которое мы можем обнаружить, - топологическое. В частности, в случае распределенной энергетики, мощность, поступающая в сеть, всегда проходит через центральные распределительные системы, прежде чем попасть к конечным потребителям, в то время как в случае распределенной энергетики это не всегда так, на практике электроэнергия может обмениваться напрямую от генератора к потребителю без прохождения через централизованные распределительные системы. Это явление оказывает значительное влияние на качество электроэнергии, поставляемой генераторами, так как при отсутствии промежуточных этапов для распределительного оборудования мощность, поставляемая распределенными генераторами, менее эффективна, чем мощность, поставляемая централизованными генераторами. В последние годы в электротехнической и электротехнологической сфере все чаще можно услышать о качестве электроэнергии, под которым понимается качество мощности, передаваемой по линиям электропередачи потребителям.

### 1.3 ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ ИЛИ ПОНИЖЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Перенапряжение - это явление, при котором сеть передает энергию при напряжении, превышающем номинальное. Явление может быть переходным или стационарным. В первом случае отклонение от номинального значения происходит в течение нескольких мгновений или нескольких циклов, с

амплитудой от нескольких Вольт до сотен Вольт, часто вызванное переключением индуктивных нагрузок, трансформаторов под нагрузкой и т.д... Конечно, этот тип возмущений может также генерировать энергетическую неэффективность, но реальная проблема, связанная с этим типом возмущений, заключается в возможности повреждения устройств, подключенных к системе. Во втором случае помехи можно считать стационарными, если напряжение питания постоянно выше номинального рабочего напряжения, которое в Италии составляет 230 В для однофазных низковольтных систем и 400 В для трехфазных низковольтных систем. Даже в этом случае помехи могут в конечном итоге привести к повреждению устройств, подключенных к системе, хотя это явление должно быть связано с конструкцией самих устройств, которые должны иметь допуск на входное напряжение  $\pm 10\%$ . Но реальная проблема во многих случаях связана с энергоэффективностью. В частности, для большинства линейных нагрузок, подключенных к сети, повышение напряжения приводит к сокращению срока службы устройства и увеличению энергопотребления без ощутимого повышения производительности.

## 1.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ

Передача энергии в сети должна осуществляться посредством синусоидальной волны с частотой 50 Гц (в Италии) с номинальным напряжением 230 В, и эта волна, замыкаясь на линейных сопротивлениях, должна генерировать в электрической цепи ток, который также является синусоидальным с частотой 50 Гц, с амплитудой, зависящей от омической части сопротивления, и максимум сдвигом фазы относительно волны напряжения, зависящим от мнимой части самого сопротивления. Мы использовали условное наклонение применительно как к входному напряжению, так и к генерации тока в сети, поскольку в первом случае нет уверенности, что волна напряжения на входе будет идеально синусоидальной, но даже если это так, нет уверенности, что результирующая волна тока будет идеально синусоидальной. С математической точки зрения, рассматриваемая волна в любом случае является периодической, и поэтому ее можно разложить в ряд Фурье, представив в виде суммы бесконечных синусоидальных составляющих с разной частотой, амплитудой и фазой. Технически отдельные компоненты последовательного развития называются гармониками; в частности, синусоидальная волна на основной частоте также является гармоникой.

Если рассматривать любую электрическую цепь, питаемую чистой синусоидой и замкнутую только на линейные нагрузки, то, как мы только что говорили, результирующая волна тока будет иметь единственную

составляющую на частоте источника питания и не будет иметь гармонической составляющей на частоте, отличной от основной, тогда как в случае, когда хотя бы одна из нагрузок нелинейна, могут возникнуть гармоники тока на частоте, отличной от основной, пренебрегая явлением интергармоники в данный момент, для электрических нагрузок результирующими компонентами тока с большим вкладом обычно являются компоненты на частотах, кратных основной, поэтому произведенные гармоники могут быть численно упорядочены путем ссылки на кратность частоты, представляющей интерес, т.е., например, вторая гармоника - это гармоника на частоте, вдвое превышающей основную. Кроме того, для большинства нелинейных нагрузок, подключенных к сети (например, импульсных источников питания), гармониками с наибольшей амплитудой являются гармоники с нечетным порядком: третья, пятая, седьмая и т.д. Более того, в реальных случаях гармоники обычно имеют большой амплитудный вклад в младших порядковых числах и поэтому уменьшаются, т.е. в общем случае третья гармоника имеет большую амплитуду, чем пятая, пятая, чем седьмая, и т.д. Конечно, даже в этом случае необходимо анализировать отдельные ситуации, поскольку различные нелинейные нагрузки, подключенные к сети, могут генерировать различный гармонический вклад, и, следовательно, сумма этих вкладов может быть различной.

Ссылаясь на генерируемую волну тока, можно определить суммарные гармонические искажения следующим образом:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^{\infty} I_n - I_f}{I_f}$$

где:

**$I_t$**  - общий ток

**$I_f$**  - ток на основной частоте

То же самое относится и к волне напряжения:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^{\infty} V_n - V_f}{V_f}$$

И в целом за передаваемую энергию:

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

Этот показатель, как видно из названия, дает нам информацию об общем уровне искажений, присутствующих в осциллограммах. Естественно, чем больше значение превышает 0, тем дальше форма волны отходит от идеального случая. Наличие гармонических искажений само по себе также создает энергетические проблемы в установках. Фактически, можно показать, что искажение тока также влияет на форму волны напряжения, питающего нагрузки, и поэтому это явление также влияет на линейные нагрузки, подключенные к системам, а также создает другие потери в системе

в результате увеличения рассеиваемой мощности на импедансе линии и внутреннем импедансе генератора.

В общем случае линейная нагрузка имеет практически бесконечную полосу пропускания, например, лампа накаливания преобразует всю подводимую к ней электрическую энергию в тепловую, а это значит, что если подать, например, на лампочку напряжение 5 В с частотой 400 Гц, нить накаливания в ней нагреется, и тепло выделится за счет эффекта Джоуля.

Проблема в том, что рассматриваемое преобразование не генерирует световое излучение в видимом диапазоне, вернее, оно будет генерировать минимальное количество светового излучения в видимом диапазоне и, возможно, другие излучения в диапазонах света, не видимых невооруженным глазом, например, в ультрафиолетовом или инфракрасном, поскольку нить накаливания рассчитана на работу на частоте сети.

Это имеет три очень важных следствия:

- Работа за пределами номинальных параметров может привести к преждевременному выходу устройства из строя.
- Поступающая световая энергия имеет нежелательную составляющую, поэтому можно сказать, что избыточная энергия не используется для выполнения работы, для которой предназначено устройство, а, по сути, является лишь помехой.
- Излучение, выходящее за пределы видимого света, может быть вредным для человеческого организма, который подвергается его воздействию.

Если учесть другие типы нагрузки, такие как электродвигатели, насосы и прочее, последствия могут быть еще хуже.

В результате такие искажения передают энергию нагрузкам, которые используют ее частично для выполнения работы, для которой они предназначены, а частично для создания неэффективности, повышающей вероятность выхода нагрузки из строя. Таким образом, помимо экономического ущерба, связанного с увеличением потребления энергии, существует также ущерб, связанный с сокращением срока службы самих устройств.

## 1.5 БАЛАНСИРОВКА ФАЗ

В случае трехфазных систем еще одним фактором, негативно влияющим на качество электроснабжения, является дисбаланс между фазами, т.е. разница между формами сигналов на отдельных фазах электросети, причем эти различия в общем случае могут быть связаны либо с напряжением основной частоты, либо с гармониками. Такие возмущения обычно возникают при смешении однофазных и трехфазных нагрузок в одной линии. Это явление имеет как энергетические последствия для подключенных трехфазных нагрузок, так и последствия с точки зрения эффективности и срока службы устройства. Из литературы в этой области мы узнали, что большинство неэффективных расходов приходится на трехфазные двигатели, подключенные к системе.

## 1.6 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Другой важной помехой, возникающей в нагрузках, подключенных к электросети, является сдвиг фаз между формой волны напряжения и формой генерируемого тока. Фазовый сдвиг между напряжением и током в целом сам по себе не создает энергетических проблем на нагрузках, или, по крайней мере, не создает проблем с точки зрения активной энергии, поглощаемой нагрузками, конечно, наличие фазового сдвига создает неэффективность и большую мощность на этапе передачи энергии. В общем случае даже линейная нагрузка, которая не является полностью омической, создает разность фаз тока по отношению к напряжению питания, либо с опережением, либо с задержкой, в зависимости от того, является ли данная нагрузка омически-емкостной или омически-индуктивной. Это приводит к передаче так называемой реактивной мощности. В частности, реактивная мощность - это мощность, которая не используется нагрузкой для совершения работы, а просто поддерживает магнитное поле. Проблема заключается в том, что реактивная мощность передается через индуктивный ток, что увеличивает нагрузку на электрические кабели, подключенные к сети, и, кроме того, большая циркуляция тока в цепи создает большие потери на последовательных сопротивлениях самой цепи, в частности, на внутреннем сопротивлении генератора и на сопротивлении линии, тем самым создавая омические потери (т.е. активную мощность) в самой системе.

Здесь важны 2 фактора, влияющие на энергетический и экономический баланс системы:

- В некоторых случаях использование реактивной энергии влечет за собой расходы для пользователя в виде штрафов по счёту.
- Циркулирующий реактивный ток приводит к рассеиванию активной энергии в линии.

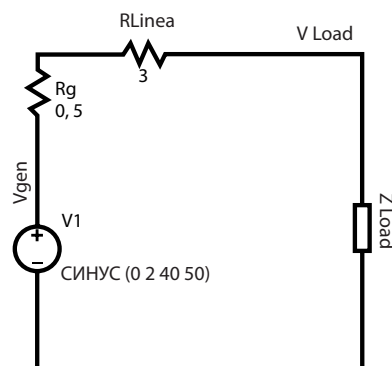
Мало того, можно просто показать, что этот фактор также влияет на напряжение питания нагрузки, поскольку падение напряжения на линии приводит к снижению полезного напряжения на самой нагрузке при той же суммарной потребляемой мощности, другими словами, передача энергии становится крайне неэффективной. Очень часто, когда речь идет об электрических сетях, принято говорить о коэффициенте мощности, означаящем соотношение между полной передаваемой мощностью (кажущейся мощностью) и активной мощностью, и этот коэффициент обычно путают с так называемым тарифом. В частности, последнее утверждение верно только в том случае, если рассматриваются только линейные нагрузки, поэтому для сети с линейными нагрузками тариф соответствует коэффициенту мощности. Однако в общем случае коэффициент мощности также учитывает суммарные гармонические искажения.



## 2. РЕАКЦИЯ НА НАГРУЗКУ

### 2.1 ПРЕДИСЛОВИЕ

В этом разделе мы проанализируем, в том числе с помощью моделирования, поведение нагрузок в присутствии вышеупомянутых возмущений. Для простоты рассмотрим электрическую цепь бытового типа с договорной мощностью 3 кВт, которую можно изобразить следующим образом: Для моделирования будет использована модель с сосредоточенными параметрами.



*В частности:*

- Rg - "внутреннее" сопротивление генератора
- RLinea - это линейное сопротивление сети, обусловленное, главным образом, наличием силовых кабелей для распределения электроэнергии. Для простоты мы пренебрежем

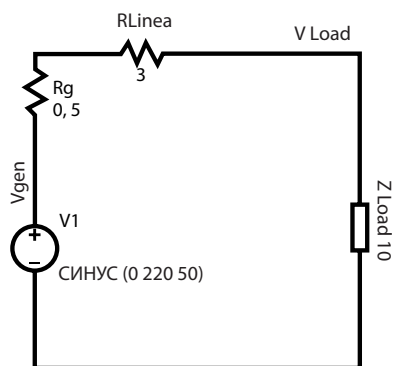
емкостными и индуктивными эффектами импеданса; установленное значение сопротивления 3 Ом соответствует примерно 350 м кабеля со средним сечением 2 кв. мм.

- Z Load - импеданс нагрузки, представленный в виде эквивалентного импеданса генератора. Рассматриваемую схему можно разделить на две части, одна из которых является частью источника питания, а другая - частью нагрузки.

Для того чтобы оценить энергетический баланс самой цепи, мы рассмотрим ряд факторов, которые будут полезны время от времени, но в целом мы сосредоточимся на активной мощности, выдаваемой генератором, и активной мощности, поглощаемой нагрузкой, чтобы мы могли оценить эффективность передачи энергии в различных ситуациях.

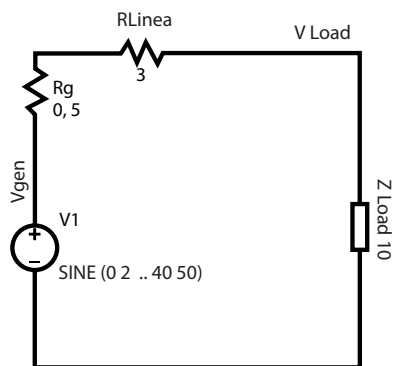
## 2.2 СТАЦИОНАРНОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ НА ОМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

В качестве первого примера рассмотрим наличие чисто омической нагрузки и проанализируем влияние на систему напряжения, превышающего оптимальное, при этом мы будем считать, что оптимальное напряжение составляет 220 В:



Активная мощность, выдаваемая генератором: 1785 Вт

Активная мощность, поглощаемая нагрузкой: 1322 Вт



Активная мощность, выдаваемая генератором: 2124 Вт

Активная мощность, поглощаемая нагрузкой: 1573 Вт

Подведем итоги:

ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ		
	Оптимальное напряжение сети	Высокое напряжение в сети
Напряжение питания:	220В	240В
Линейный ток:	16.28А	17.73А
Коэффициент мощности:	≈ 1	≈ 1
Суммарные гармонические искажения:	0%	0%
Резистивный импеданс нагрузки:	10 Ом	10 Ом
Выходная мощность генератора:	1785 Вт	2124 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	1322 Вт	1573 Вт

## Соображения

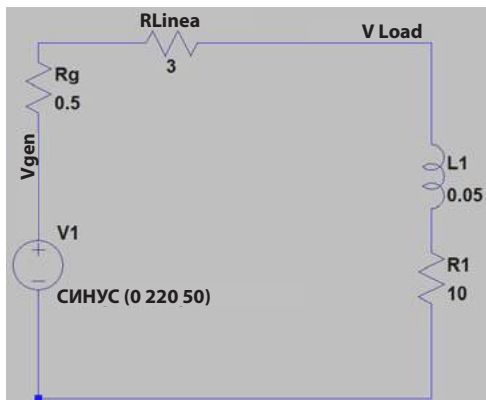
Прежде всего, следует учесть, что в рассматриваемом случае общая мощность, потребляемая генератором, примерно на 16% меньше в случае оптимального энергоснабжения. Естественно, из-за линейности цепи мощность, распределяемая на нагрузку, также на 16% ниже, но, как мы видели при рассмотрении влияния высокого напряжения на нагрузку, это не всегда приводит к увеличению эффективности нагрузки, например, если нагрузка представляет собой одну или несколько ламп накаливания, подключенных параллельно. Конечно, подача на них более высокого напряжения на основной частоте приведет к увеличению световой энергии в видимом диапазоне, но это также приведет к увеличению энергии в других диапазонах излучения светильника, поэтому общая световая мощность в видимом диапазоне будет увеличена не на 16%, а на меньший процент. Более того, выход за пределы оптимального диапазона напряжения для данного светильника означает сокращение срока его службы не на 16%, а гораздо больше: исследования компании Omron, проведенные на примере ламп накаливания, показали, что питание лампы на 240 В сокращает срок ее службы на 55% по сравнению с питанием на номинальном рабочем напряжении.

Еще один фактор, который необходимо учитывать, - это омические потери энергии в сети: в случае оптимального блока питания потери составляют  $(1785 - 1322)\text{Вт} = 463\text{Вт}$ , а в случае более высоковольтного блока питания -  $(2124 - 1173)\text{Вт} = 951\text{Вт}$ , опять же, с относительной точки зрения, потери в процентах одинаковы, но в

абсолютном значении потери мощности больше в случае более высокого напряжения, так как на линии рассеивается примерно на 100 Вт больше, что означает больше энергии, учитываемой на счетчике, и больший нагрев и неэффективность электрических кабелей.

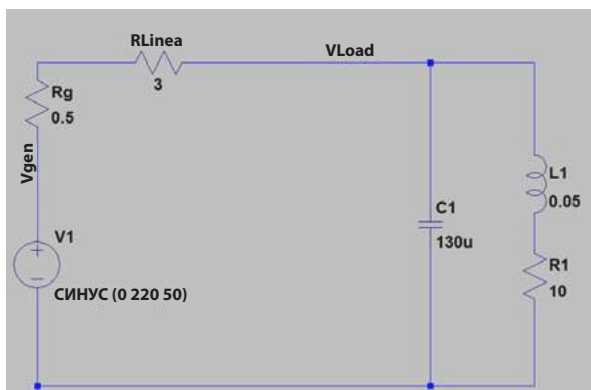
## 2.3 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Теперь рассмотрим наличие в цепи омическо-индуктивной нагрузки:



Выходная мощность генератора: 632 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 561 Вт

Мы вводим параллельно нагрузке емкостное сопротивление, чтобы получить из той же схемы эквивалентный омический импеданс, наблюдаемый от генератора:



Выходная мощность генератора: 758 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 573 Вт

Подведем итоги:

ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАПЯЖЕНИЯ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ		
	Омический эквивалент нагрузки	Эквивалентная нагрузка омическо-индуктивная
Напряжение питания:	220В	220В
Линейный ток:	5.73А	8.03А
Коэффициент мощности:	0.99	0.66
Суммарные гармонические искажения:	0%	0%
Выходная мощность генератора:	758 Вт	632 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	561 Вт	573 Вт

## Соображения

Для данного случая мы можем отметить два важных соображения:

1. Мощность, выдаваемая генератором в случае индуктивной омической нагрузки, примерно на 18% больше, чем в случае ее омического эквивалента.
2. Фактическая мощность, потребляемая нагрузкой, примерно на 3% выше.

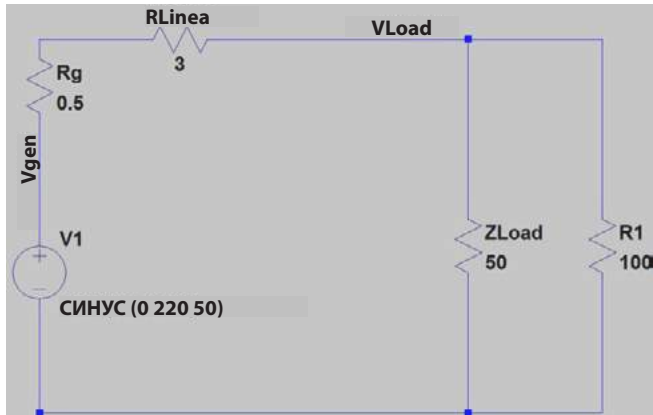
Первое утверждение позволяет нам сказать, что, улучшая коэффициент мощности цепи, мы также получаем значительную экономию общей потребляемой мощности, поэтому энергетический баланс в этом случае положительный, и мы также отмечаем, что сама нагрузка выигрывает, поскольку потребляемая ею мощность при тех же условиях немного выше, чем в предыдущем случае.

Естественно, это условие проверяется при напряжении питания 220 В, при более высоком напряжении проблема более сложная, поскольку включение индуктивной нагрузки приводит к сдвигу фаз с последующим падением напряжения на нагрузке из-за влияния сопротивления линии, естественно, при коррекции коэффициента мощности системы ситуация улучшается с энергетической точки зрения, но в действительности мы оказываемся в прежнем состоянии стационарного перенапряжения нагрузки, поэтому рассеяние на нагрузке должно быть в любом случае изменено, чтобы заставить ее работать в оптимальных условиях, этот

последний фактор дает еще большую экономию и поэтому является желательным элементом, который мы рассмотрим позже.

## 2.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ

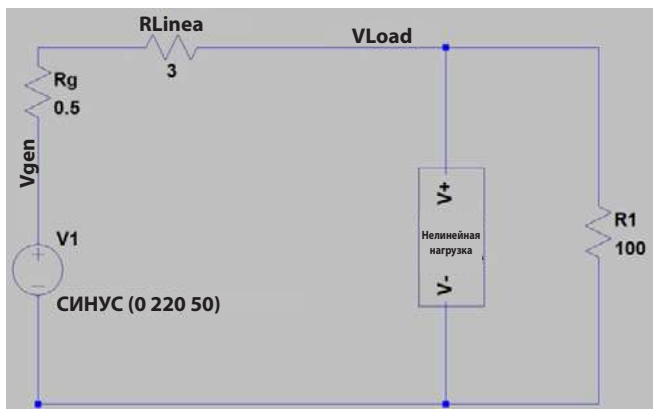
Теперь рассмотрим наличие в цепи смешанных линейных и нелинейных нагрузок:



Выходная мощность генератора: 654 Вт

Мощность, поглощаемая нагрузкой: 592 Вт

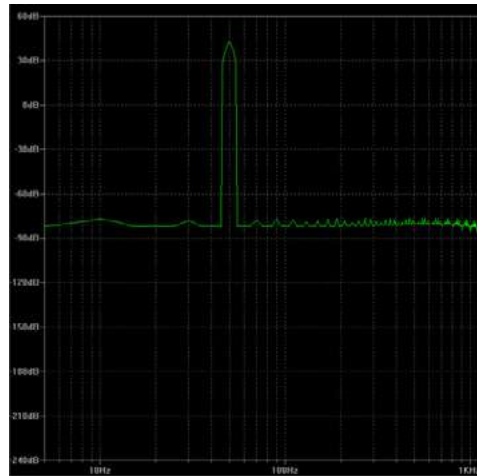
Заменим нагрузку 50 Ом на нагрузку той же мощности, но нелинейную:



Выходная мощность генератора: 656 Вт

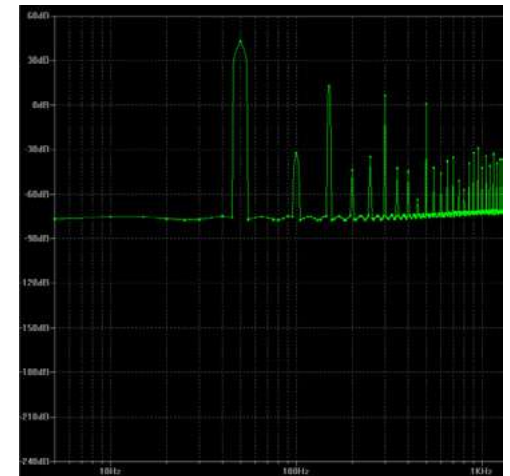
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 586 Вт

Давайте рассмотрим эту ситуацию подробнее, рассмотрим преобразование Фурье напряжения на нагрузке в полосе 0 - 1 кГц.



Полностью линейная цепь.

Суммарные гармонические искажения:  
0.000473%



Цепь с нелинейной нагрузкой

Суммарные гармонические искажения:  
3.550619%

Подведем итоги:

ИНДУКТИВНАЯ ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ГАРМОНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ		
	Омический эквивалент нагрузки	Эквивалентная нагрузка омическо-индуктивная
Напряжение питания:	220В	220В
Линейный ток:	4.21А	4.46А
Коэффициент мощности:	≈ 1	0.95
Суммарные гармонические искажения:	≈ 0%	3.55%
Выходная мощность генератора:	654 Вт	656 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	592 Вт	586 Вт

### Соображения

В данном случае можно отметить три соображения:

- Мощность генератора в случае нелинейной цепи примерно на 0,4 % выше, чем в случае ее омического эквивалента.
- Общая мощность, передаваемая в нагрузку, увеличивается примерно на 1%.
- Мощность, передаваемая в нагрузку на частоте 50 Гц, на 3,5 процента меньше, причем этот процент передается вне диапазона.

В этом случае нелинейная нагрузка генерирует циркулирующий ток с высоким содержанием внеполосных гармоник; сам по себе этот ток не создает проблем для других нагрузок, поскольку циркулирует только между генератором и соответствующей нагрузкой. Проблема заключается

в том, что изменение напряжения на импедансе линии также имеет высокое содержание гармоник, и поэтому на общее напряжение питания нагрузки влияют гармонические искажения, зависящие, как уже говорилось, от мощности искажающей нагрузки и импеданса линии. Естественно, эти искажения поглощаются омическими нагрузками и преобразуются в тепло, что, предположительно, не дает никаких преимуществ с точки зрения эффективности, а иногда и существенных недостатков с точки зрения срока службы устройства. Поэтому можно утверждать, что, хотя с точки зрения энергетического баланса, казалось бы, нет значительных отклонений (1%), с точки зрения эффективности нагрузок есть более существенные отклонения (3-4%), поэтому общая мощность, поглощаемая нагрузкой, практически на 5% ниже, если учитывать мощность, полезную для работы (мощность, отдаваемую при частоте 50 Гц).



## 3 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 3.1 ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Оптимизация напряжения - это энергосберегающий метод, который заключается в установке трансформатора последовательно с питающей линией, чтобы уменьшить или увеличить напряжение, доступное для нагрузки.

Оптимизация может происходить статически или динамически в зависимости от того, снижается ли напряжение фиксировано на определенный процент или динамически изменяется во время нормальной работы схемы.

В случае особых нелинейных нагрузок (например, импульсных источников питания) снижение напряжения может даже привести к росту потребления. Фактически, эти нагрузки работают с постоянной мощностью, то есть они всегда потребляют одно и то же количество энергии даже при изменении напряжения, поэтому снижение напряжения приводит к увеличению тока в узле, а значит, и в линии, а этот ток, естественно, увеличивает потери в кабелях передачи и, следовательно, в линии, этот ток, естественно, увеличивает потери в кабелях передачи.

### 3.2 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Коррекция коэффициента мощности определяется как любая мера, используемая для увеличения (или, как принято говорить, улучшения) коэффициента мощности ( $\cos \phi$ ) данной нагрузки, чтобы уменьшить значение тока, циркулирующего в системе при той же поглощаемой активной мощности. Целью коррекции коэффициента мощности является, прежде всего, снижение потерь энергии и уменьшение поглощаемой мощности в соответствии с существующим оборудованием и линиями на промышленной площадке. Смена коэффициента мощности установок приобрела большую важность, поскольку энергетическая компания ввела договорные условия в рамках тарифных мер Межминистерского комитета по ценам (№ 12/1984 и № 26/1989), обязывающие пользователя переналаживать свою установку под угрозой штрафа. В цепях с особыми потребителями, такими как лампы накаливания, водонагреватели, некоторые типы печей, кажущаяся потребляемая мощность - это вся активная мощность. В цепях с потребителями, внутри которых имеются обмотки, таких как двигатели, сварочные аппараты, балласты для люминесцентных ламп, трансформаторы, часть поглощаемой кажущейся мощности используется для возбуждения магнитных цепей и поэтому не используется как активная мощность, а как мощность, обычно называемая реактивной мощностью. С точки зрения общего энергетического баланса, коррекция коэффициента мощности уменьшает количество

реактивной энергии, поглощаемой цепью, но не уменьшает непосредственно используемую активную энергию, т.е. уменьшение активной энергии в целом является следствием того, что потери в проводниках уменьшаются, поскольку последовательное сопротивление самих проводников пересекается с меньшим общим током, но в действительности не вся активная энергия сохраняется, поскольку меньшее рассеяние на проводниках приводит к меньшему падению напряжения на нагрузке, а в случае омической нагрузки это означает большее рассеяние энергии.

Однако ясно, что в этом случае избыток энергии положителен для нагрузки, если только мы не имеем дело со стационарными перенапряжениями. Коррекция коэффициента мощности нагрузок может быть централизованной, распределенной или смешанной: в первом случае вся система корректируется перед нагрузкой и перед генератором, поэтому на выходе генератора стоимость улучшается, но не обязательно улучшаются все звенья цепи; во втором случае корректируется коэффициент мощности нагрузки по отдельности, что приводит к улучшению общей стоимости после генератора; в третьем случае используется смешанное решение между первыми двумя. Обычно коррекция коэффициента мощности нагрузки достигается путем размещения генератора реактивной мощности параллельно нагрузке в противофазе с реактивной мощностью нагрузки, так что выходная реактивная мощность аннулируется.

Простейшим генератором реактивной мощности в синусоидальных цепях является конденсатор, поэтому один или несколько конденсаторов устанавливаются параллельно нагрузкам, чтобы добиться улучшения стоимости. Однако существуют и другие методы, такие как статические компенсаторы или активные фильтры.

### 3.3 ГАРМОНИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Фильтрация гармоник в энергосистемах обычно осуществляется путем включения в цепь устройств, снижающих суммарные гармонические искажения обычно в токе, чтобы также улучшить влияние искажений на напряжение. Существует 2 основные категории фильтров, подходящих для этой цели:

- **Пассивные фильтры**
- **Активные фильтры**

В первом случае существует дополнительное различие между настроенными и индуктивными фильтрами. Настроенные фильтры - это специальные фильтры  $r/c$ , настроенные на определенную частоту и обычно подключенные к земле. В некоторых случаях могут использоваться полосовые или высокочастотные фильтры, чтобы создать низкоомный путь к земле для помех на этих частотах и устранить помехи в их источнике. В случае сетевых дросселей, с другой стороны, принцип работы заключается в LR-фильтрах низких частот. Фактически сетевой дроссель образует с нижележащей омической цепью фильтр низких частот, который не пропускает энергию на частотах, далеких от 50 Гц. Такое

решение, конечно, улучшает ситуацию на нагрузке, снижая коэффициент суммарных гармонических искажений, но с точки зрения энергетического баланса

ситуация остается неизменной, ведь помехи направляются на землю, пройдя через счетчик, и поэтому энергия, перенаправленная на землю, по-прежнему учитывается. С точки зрения нагрузки активные фильтры представляют собой параллельные генераторы тока, которые инжектируют ток, равный и противоположный току нагрузки, вносящей внеполосные искажения, и таким образом гасят гармонические токи, генерируемые самой нагрузкой.

Они работают, модулируя напряжение в сети, анализируют ситуацию в сети и вводят компенсационные токи. Естественно, чтобы правильно ввести эти токи, им нужна очень высокая частота коммутации, более чем в два раза превышающая частоту максимальной гармоники компенсации, поэтому им нужны особенно эффективные и быстрые внутренние устройства, обычно используются IGBT для работы на требуемой частоте переключения. Это, естественно, делает такие устройства особенно дорогими. Кроме того, с точки зрения энергетического баланса ситуация аналогична случаю с пассивными фильтрами, поскольку в зависимости от эффективности фильтров  $i$ , эквивалентное количество энергии поглощается для компенсации возмущений. Интересно то, что активные фильтры могут также повышать стоимость системы, поскольку они также работают как генераторы реактивной мощности. Кроме того, еще один очень интересный аспект заключается в том, что фильтры даже разной мощности могут быть включены параллельно и при этом не нарушать работу схемы и не вызывать резонанса.

### 3.4 ФИЛЬТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Фильтр электромагнитных помех - это пассивный фильтр, используемый в большинстве электронных устройств, позволяющий им соответствовать нормам электромагнитной совместимости, особенно тем, которые касаются кондуктивных излучений. По сути, фильтр электромагнитных помех - это низкочастотный фильтр, который подключается в качестве последнего каскада между оборудованием и источником питания, чтобы ослабить шумовые компоненты, которые склонно излучать любое электронное устройство. Очевидно, что фильтр должен быть прозрачным на частоте питания (50-60 Гц), чтобы устройство функционировало должным образом, в то время как он должен действовать в частотном диапазоне, установленном стандартом (150 кГц-30 МГц).

### 3.5 ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ

На рынке существует ряд устройств, позволяющих профилировать потребление пользователей, то есть понять, как они расходуют электроэнергию в течение определенного интересующего их периода. Конечно, сами по себе такие системы не улучшают энергопотребление пользователя, но они имеют два важных последствия, которые позволяют оптимизировать потребление:

- Осведомленность пользователей о потреблении может привести к повышению внимания и экономии.

- Внедрение экспертной системы, анализирующей и обрабатывающей эти данные, может привести к более эффективному управлению энергопотреблением и существенной экономии, не меняя привычек потребления.

## 4. ANT

### 4.1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

Прежде чем перейти к рассмотрению преимуществ проекта, необходимо сделать некоторые пояснения по проблемам, которые мы рассматривали в предыдущих главах, и решениям, представленным на рынке в настоящее время.

Затем мы рассмотрели системы оптимизации напряжения. На рынке представлены различные типы таких систем, хотя на практике они представляют собой устройства, которые просто снижают напряжение в сети, некоторые статически, другие динамически, последние включают стабилизаторы напряжения. Очевидно, что в этом случае система оптимизации напряжения может быть полезна для экономии средств, но нужно быть очень внимательным к тому, как она работает. Статическое понижение напряжения, конечно, не является эффективным решением, поскольку повышение или понижение напряжения обычно зависит от условий нагрузки. Конечно, в этом случае необходимо следить за состоянием питающей линии, так как это может создать

проблемы в работе или повредить сами нагрузки. На практике перенапряжение или стационарное пониженное напряжение могут быть положительными или отрицательными для системы в зависимости от того, имеем ли мы дело с нагрузками переменной мощности или постоянной мощности (питаемые - нелинейные), для которых правильный режим работы не может быть предсказан априори.

Затем мы изучили системы коррекции и фильтрации коэффициента мощности, и снова нам предстоит сделать много уточнений с точки зрения энергетики и безопасности установки. В частности, предположим, что мы имеем дело с системой с преимущественно омическо-индуктивной нагрузкой и при наличии стационарного перенапряжения, в этом случае, в зависимости от коэффициента мощности нагрузки, будет наблюдаться падение напряжения определенной величины между генератором и самой нагрузкой, это падение напряжения может привести нагрузку к номинальному значению напряжения, внедрение системы коррекции коэффициента мощности и фильтрации дает увеличение коэффициента мощности, следовательно, снижение тока в последовательной ветви цепи и, следовательно, увеличение полезного напряжения на нагрузке. Последнее очень часто приводит к большей трате активной энергии в зависимости от соотношения импеданса линии и импеданса нагрузки. То же самое относится, как мы смогли убедиться в результате моделирования, к гармоническому вкладу в линейные токи и напряжения, в данном случае усиленному и усугубленному тем, что при наличии гармонических

возмущений возникает проблема безопасности нагрузок и всей системы.

Проект ANT родился из необходимости объединить положительный вклад отдельных рассматриваемых технологий в единый продукт. Настоящей новинкой и важнейшей добавленной стоимостью продукта является именно динамический подход к управлению нагрузкой. В частности, устройство способно мгновенно анализировать электрическую сеть, к которой оно подключено, с точки зрения как электропитания, так и нагрузки, и оптимально питать нагрузку в любой рабочей конфигурации. Устройство способно анализировать параметры сети с точностью до 0,1% как по спектрам напряжения, так и по спектрам тока, и, анализируя уровень излучения нагрузок, понимать внутренний состав сети, а также интерпретировать вклад отдельных импедансов, с особым учетом разницы между импедансами нагрузки и передаточными и паразитными импедансами, так что устройство способно оптимизировать передачу мощности на импедансы нагрузки, минимизируя передаточные и паразитные потери.

Проект ANT был создан в ответ на растущую потребность в оптимизации передачи энергии между любым электрическим генератором и сетью подключенных к нему нагрузок.

В данном контексте под оптимизацией мы понимаем ряд мер по улучшению качества электроэнергии на входе в систему и компенсации негативных эффектов, вызванных вводом нагрузок, как мы видим из проанализированных симуляций.

Следует отметить, что в настоящее время, в том виде, в котором система существует, не существует равноценных альтернативных решений, но есть продукты-заменители, приближенные к предлагаемому решению.

## 4.2 ОПИСАНИЕ ТЕКУЩЕГО ПРОЕКТА / УСТРОЙСТВА

Система для адаптации импеданса электрических цепей потребителей к импедансу генератора, для повышения эффективности установок, защиты устройств и экономии энергии.

Подключившись к электросети, устройство способно анализировать все параметры работы сети, как внешнее качество электроэнергии, так и внутренние факторы возмущения. Он может ослаблять помехи и использовать энергию для оптимизации напряжения и внутренних токов. Он также способен сбалансировать профиль нагрузки по фазам и напряжениям питания, поэтому он также способен сбалансировать трехфазные токи. Профиль работы полностью настраивается и может управляться удаленно, как и данные анализа сети. Продукт включает в себя базовый вариант под названием ANT версии 2.1, вариант TG, включающий в себя функции удаленного управления устройством, о чем подробнее сказано выше, и вариант TL, включающий в себя функции удаленного чтения, о чем подробнее сказано выше.

Устройство подключается к системе, будь то бытовая или коммерческая, ниже по течению от счетчика и на входе в первичную распределительную линию. Подключившись к цепи, способно рассчитать сопротивление, с которым счетчик взаимодействует с цепью, и оптимизировать это сопротивление, чтобы улучшить передачу энергии между счетчиком и системой, эффективно снижая энергию, рассеиваемую системой из-за факторов, не связанных с использованием самих устройств. Кроме того, устройство работает как оптимизатор качества электроэнергии по отношению к входящей линии. Качество электроэнергии - это свойство электросети эффективно передавать энергию потребителям и максимально исключать потери.

### **Удаленное управление**

Устройство с дистанционным управлением включает в себя все основные функции с дополнительной возможностью полного дистанционного управления всеми установленными приборами. Удаленное управление устройствами очень важно для улучшения рабочих параметров устройства, так как существует возможность удаленно перенастроить каждое отдельное устройство в соответствии со стандартной рабочей ситуацией. Кроме того, с помощью удаленного управления можно в любой момент из собственного офиса получить полную картину рабочего состояния устройств и, при необходимости, обойти каждое устройство, отключив его от системы, к которой оно подключено. Кроме того, в случае поломки устройства можно получить информацию о типе неисправности,

а если какая-либо деталь сломалась внутри, то можно заранее узнать, какая деталь нуждается в замене, и обеспечить более точное и эффективное обслуживание, естественно, с возможностью связаться с клиентом напрямую и сообщить ему о неисправности и об оказании услуг.

### **Мониторинг**

Продукт, разумеется, оснащен сетью внутренних датчиков, которые проверяют функционирование всех отдельных внутренних компонентов для мониторинга всех рабочих параметров устройства и, таким образом, способны немедленно определить наличие каких-либо аномалий или сбоев в работе системы и сообщить в сервисную службу о возникшей проблеме и возможных решениях, которые необходимо применить для ее оперативного устранения.

### **Программное обеспечение**

С архитектурной точки зрения, телеуправляемый продукт состоит из центрального выделенного сервера, который взаимодействует со всеми устройствами, чтобы всегда знать ситуацию и рабочие параметры всех подключенных устройств. Кроме того, компания имеет возможность в любое время получить доступ к программному обеспечению и проверить состояние всех устройств, а также изменить конфигурацию каждого отдельного устройства и, при необходимости, отключить его от системы - все это просто и быстро. Существует также возможность предоставления

специализированного программного обеспечения другим пользователям, обслуживающим отдельные зоны, чтобы они могли управлять всеми устройствами в своей зоне. Разумеется, в каждом случае и компания, и поставщик услуг получают уведомления о возможных неисправностях устройств, а возможно, и сервисные заявки, которые необходимо обработать.

### **Удаленное считывание**

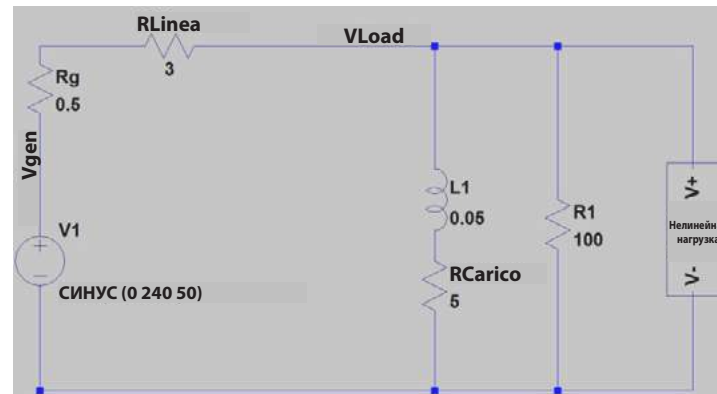
Изделие с дистанционным снятием параметров включает в себя все функциональные возможности телеуправляемого продукта, а также возможность получения всех данных о потреблении пользователя, и все это на единой, простой и функциональной платформе. Функции удаленного считывания доступны компании, они также могут, по усмотрению компании, быть доступны сервисной сети, но прежде всего они могут быть доступны отдельным пользователям, владеющим устройством. Пользователи могут получить удобный доступ к своим профилям потребления как через веб-сайт компании, так и через смартфоны и планшеты с помощью одного простого и интуитивно понятного интерфейса. Новшество заключается в том, что благодаря системе можно отслеживать не только потребление электроэнергии, но и воды, газа, а также управлять данными о производстве любых возобновляемых источников энергии в недвижимости, таких как фотоэлектрические, мини-ветровые, солнечные тепловые и другие системы.



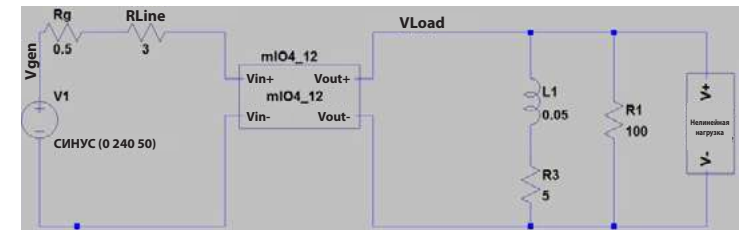


## 4.2 ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Теперь посмотрим, как система взаимодействует с электрической системой, моделируя реальную ситуацию, в которой присутствуют стационарные перенапряжения, сдвиг фаз и наличие нелинейных нагрузок. В данном случае, как видно из диаграммы, мы не учитываем нелинейность линии электропередач, то есть не учитываются возмущения извне, а только возмущения, генерируемые во внутренней линии:

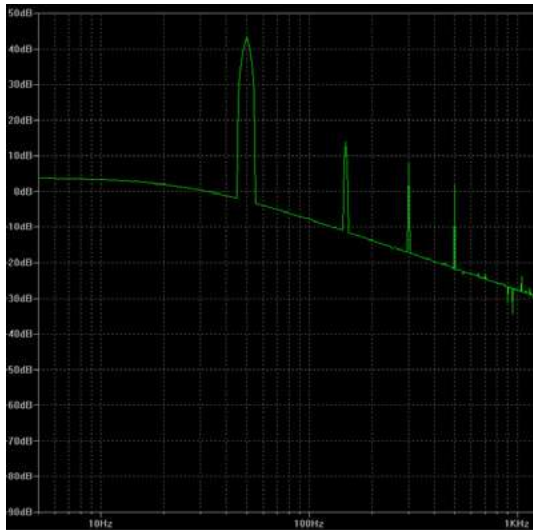


Выходная мощность генератора: 1094 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 738 Вт

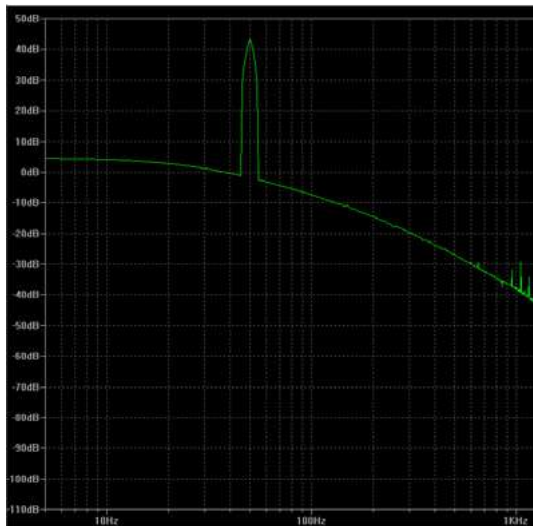


Выходная мощность генератора: 843 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 756 Вт

Анализ гармоник напряжения питания нагрузки (VLoad):



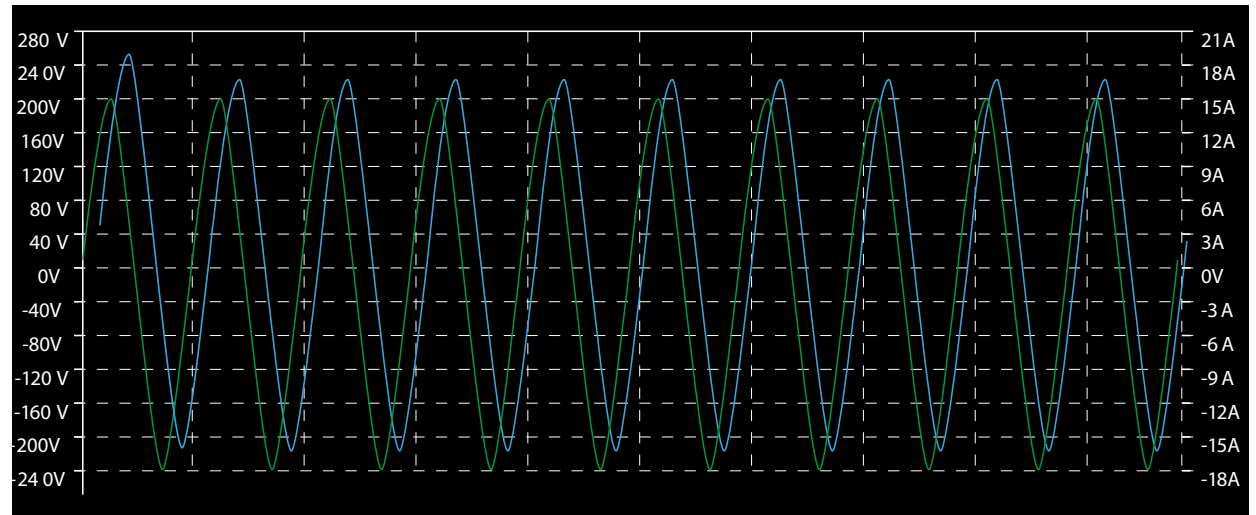
Суммарные гармонические искажения: 3.479955%



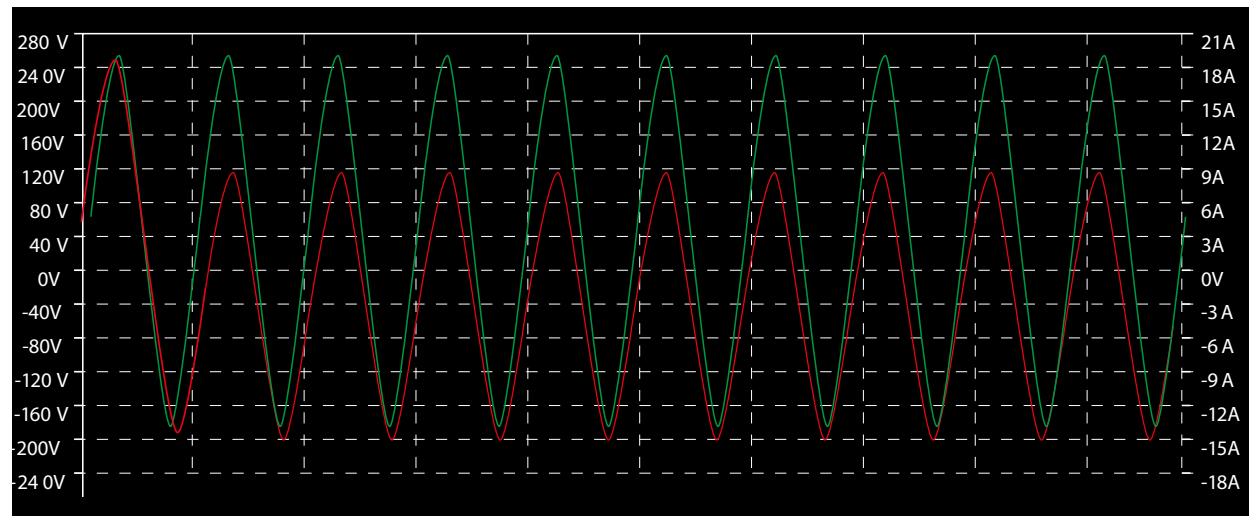
Суммарные гармонические искажения: 3.479955%

Результирующие формы сигналов:

Без ANT:



С ANT



## Эффекты установки АНТ

	Без АНТ	С АНТ
Напряжение питания:	240В	240В
Линейный ток:	10А	5А
Коэффициент мощности:	0.64	0.99
Суммарные гармонические искажения:	3.5%	0.01%
Активная мощность, выдаваемая генератором:	1094 Вт	843 Вт
Активная мощность, рассеиваемая на нагрузке:	738 Вт	756 Вт

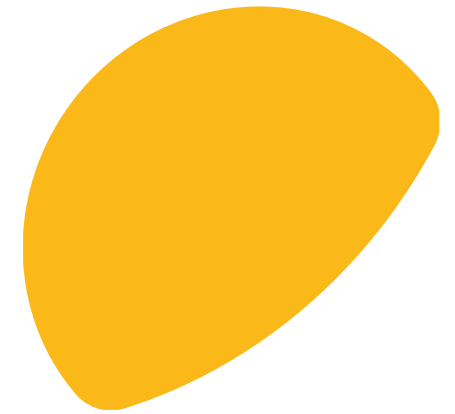
### СООБРАЖЕНИЯ

- Активная мощность, распределяемая генератором без системы, составляет более 18%;
- КПД на нагрузке составляет около 3% при активации системы
- Суммарные гармонические искажения напряжения на нагрузке при включенном устройстве незначительны, иначе они составляли бы около 3,5%. Таким образом, нагрузка на систему (50 Гц) оптимизируется более чем на 3%.
- Коэффициент мощности контура значительно увеличивается и приближается к максимально допустимому значению.
- После включения системы циркулирующий ток уменьшается примерно на 50 процентов, и, следовательно, потери в кабеле значительно ниже.

» Пишется  
ESE, читается  
EASY, легко  
как ЭКОНОМИТЬ  
энергию.



**» Откройте для себя  
мир ESE  
и все возможности  
для вашего бизнеса!**





бизнес-партнер



**Innova ICT s.r.l.**  
Виа Валь ди Нон, 88  
00144 Рим  
Код НДС: 01592450629

**Тел. Факс +39 0884.090204**  
**Сотовый телефон +39 340**  
**1238107**

**Адрес электронной почты**  
**e.innovaict@gmail.com**  
**Сайт www.innovaict.net**

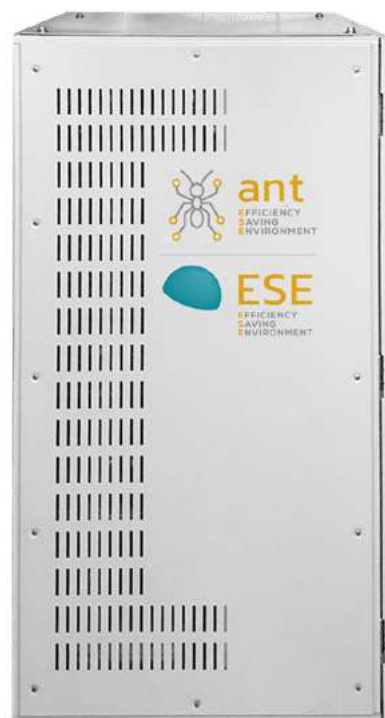


Отсканируйте qr-код  
и откройте для себя **ESE.**  
**ENERGY**

следите за нами на







IoT **INDUSTRY 4.0** Ready  
СДЕЛАНО В ИТАЛИИ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ



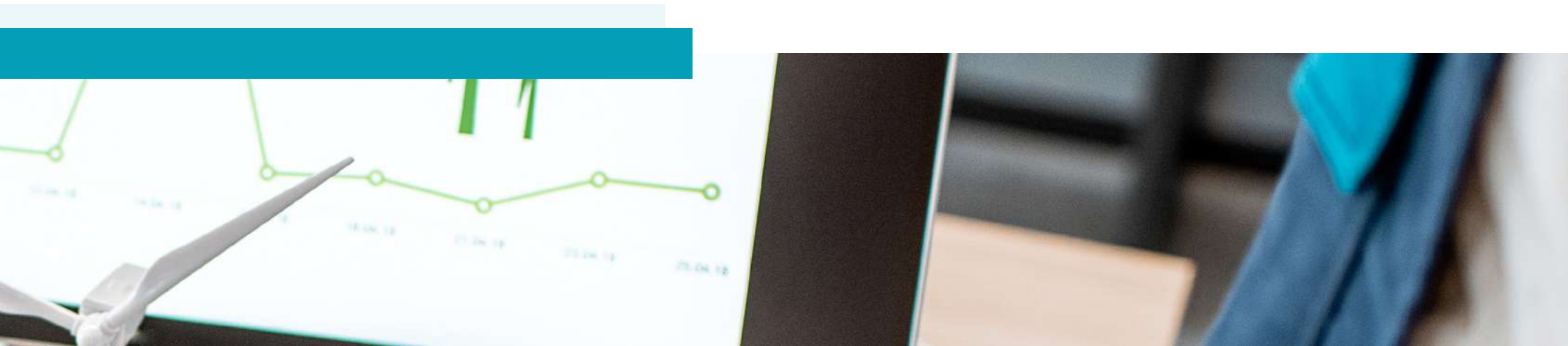


*divisione efficientamento energetico*



# » СОДЕРЖАНИЕ /

<b>1. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ПОСТАВКАМИ .....</b>	<b>4</b>	<b>3. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>18</b>
1.1 ПЕРЕХОД К ЦИФРОВОЙ ЭРЕ .....	4	3.1 ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ .....	18
1.2 РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА .....	5	3.2 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	18
1.3 ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ ИЛИ ПОНИЖЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ .....	6	3.3 ГАРМОНИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ .....	19
1.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ .....	7	3.4 ФИЛЬТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ .....	20
1.5 БАЛАНСИРОВКА ФАЗ .....	9	3.5 ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ .....	20
1.6 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	10	<b>4. АНТ .....</b>	<b>21</b>
<b>2. РЕАКЦИЯ НА НАГРУЗКУ .....</b>	<b>11</b>	4.1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ .....	21
2.1 ПРЕДИСЛОВИЕ .....	11	4.2 ТЕКУЩИЙ ПРОЕКТ .....	22
2.2 СТАЦИОНАРНОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ НА ОМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ .....	12	4.3 ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ .....	25
2.3 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ .....	14		
2.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ .....	16		



## 1. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ПОСТАВКАМИ

За последние несколько лет мы стали свидетелями двух очень важных явлений в глобальном распределении и использовании электроэнергии:

- Переход к цифровой эре
- Распределенная энергетика

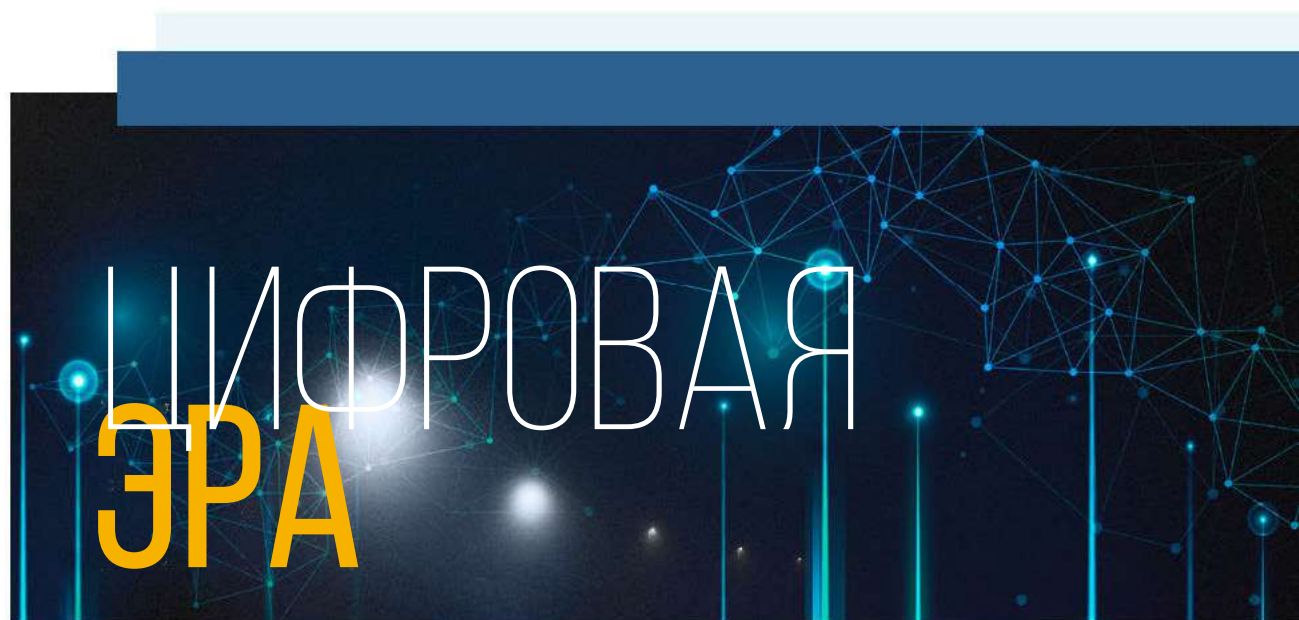
Эти два явления оказывают серьезное влияние на распределение электроэнергии и правильное управление ею.

Давайте проанализируем их подробнее.

### 1.1 ПЕРЕХОД К ЦИФРОВОЙ ЭРЕ

Чуть более десяти лет назад во всех областях началась настоящая революция, связанная со все более широким использованием цифровых технологий для повышения производительности систем, используемых для выполнения важнейших технологических функций. Компьютеры сегодня интенсивно используются на всех объектах и во всех сферах, от бытовой среды до самых сложных промышленных процессов. В настоящее время все широко используемые машины контролируются и управляются полностью цифровыми компьютеризированными системами. Мало того, в нашу жизнь проникают инструменты, которые еще несколько лет назад были просто немыслимы (планшеты, смартфоны и т.д.). Даже такие базовые понятия, как освещение, все

чаще переходят на цифровые технологии, особенно с появлением светодиодов. Позже мы рассмотрим последствия этого явления для энергетических проблем и эффективного управления энергией, а пока отметим, что все более массовое развитие цифровых технологий порождает все большее присутствие нелинейных нагрузок, подключенных к нашим станциям.



## 1.2 РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В последние годы, особенно в Европе, но в любом случае и во всем мире, производство электроэнергии претерпевает значительные изменения. Всего два десятилетия назад производство электроэнергии было в основном централизованным, особенно благодаря использованию атомной энергии, что дало возможность создавать крупные электростанции для обслуживания все более обширной и энергоемкой базы потребителей. Однако в последние годы произошла значительная революция в производстве электроэнергии, в основном благодаря фотоэлектричеству, которая, в том числе благодаря сильной политике стимулирования, все больше входит в нашу жизнь, но и другие технологии, такие как энергия ветра, гидроэлектроэнергия, когенерация и т.д., также переживают все большее развитие.

То, как это явление повлияет на передачу энергии конечным потребителям, выходит за рамки данного обсуждения, но, безусловно, интересно сначала оценить, в чем заключаются основные различия между двумя подходами. Чтобы упростить обсуждение, ниже мы приводим схему состояния сети электропередачи в двух случаях, чтобы качественно оценить влияние этого изменения на конечного потребителя:

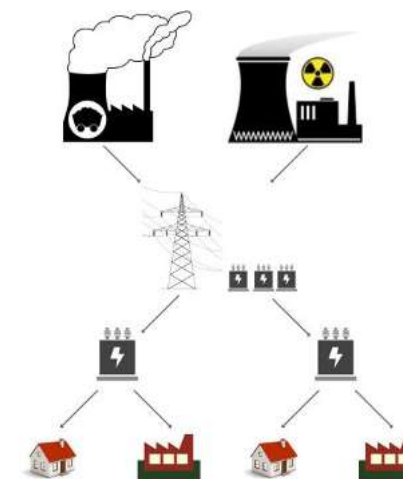


Рисунок 1: Централизованная сеть передачи энергии

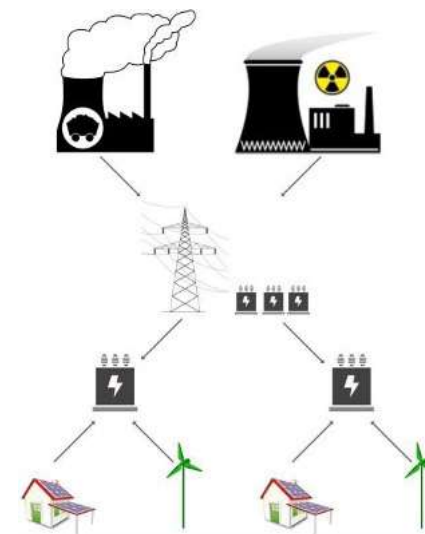


Рисунок 2: Распределённая сеть передачи энергии

Как видно из двух рисунков выше, самое важное различие, которое мы можем обнаружить, - топологическое. В частности, в случае распределенной энергетики, мощность, поступающая в сеть, всегда проходит через центральные распределительные системы, прежде чем попасть к конечным потребителям, в то время как в случае распределенной энергетики это не всегда так, на практике электроэнергия может обмениваться напрямую от генератора к потребителю без прохождения через централизованные распределительные системы. Это явление оказывает значительное влияние на качество электроэнергии, поставляемой генераторами, так как при отсутствии промежуточных этапов для распределительного оборудования мощность, поставляемая распределенными генераторами, менее эффективна, чем мощность, поставляемая централизованными генераторами. В последние годы в электротехнической и электротехнологической сфере все чаще можно услышать о качестве электроэнергии, под которым понимается качество мощности, передаваемой по линиям электропередачи потребителям.

### 1.3 ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ ИЛИ ПОНИЖЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Перенапряжение - это явление, при котором сеть передает энергию при напряжении, превышающем номинальное. Явление может быть переходным или стационарным. В первом случае отклонение от номинального значения происходит в течение нескольких мгновений или нескольких циклов, с

амплитудой от нескольких Вольт до сотен Вольт, часто вызванное переключением индуктивных нагрузок, трансформаторов под нагрузкой и т.д... Конечно, этот тип возмущений может также генерировать энергетическую неэффективность, но реальная проблема, связанная с этим типом возмущений, заключается в возможности повреждения устройств, подключенных к системе. Во втором случае помехи можно считать стационарными, если напряжение питания постоянно выше номинального рабочего напряжения, которое в Италии составляет 230 В для однофазных низковольтных систем и 400 В для трехфазных низковольтных систем. Даже в этом случае помехи могут в конечном итоге привести к повреждению устройств, подключенных к системе, хотя это явление должно быть связано с конструкцией самих устройств, которые должны иметь допуск на входное напряжение  $\pm 10\%$ . Но реальная проблема во многих случаях связана с энергоэффективностью. В частности, для большинства линейных нагрузок, подключенных к сети, повышение напряжения приводит к сокращению срока службы устройства и увеличению энергопотребления без ощутимого повышения производительности.

## 1.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ

Передача энергии в сети должна осуществляться посредством синусоидальной волны с частотой 50 Гц (в Италии) с номинальным напряжением 230 В, и эта волна, замыкаясь на линейных сопротивлениях, должна генерировать в электрической цепи ток, который также является синусоидальным с частотой 50 Гц, с амплитудой, зависящей от омической части сопротивления, и максимум сдвигом фазы относительно волны напряжения, зависящим от мнимой части самого сопротивления. Мы использовали условное наклонение применительно как к входному напряжению, так и к генерации тока в сети, поскольку в первом случае нет уверенности, что волна напряжения на входе будет идеально синусоидальной, но даже если это так, нет уверенности, что результирующая волна тока будет идеально синусоидальной. С математической точки зрения, рассматриваемая волна в любом случае является периодической, и поэтому ее можно разложить в ряд Фурье, представив в виде суммы бесконечных синусоидальных составляющих с разной частотой, амплитудой и фазой. Технически отдельные компоненты последовательного развития называются гармониками; в частности, синусоидальная волна на основной частоте также является гармоникой.

Если рассматривать любую электрическую цепь, питаемую чистой синусоидой и замкнутую только на линейные нагрузки, то, как мы только что говорили, результирующая волна тока будет иметь единственную

составляющую на частоте источника питания и не будет иметь гармонической составляющей на частоте, отличной от основной, тогда как в случае, когда хотя бы одна из нагрузок нелинейна, могут возникнуть гармоники тока на частоте, отличной от основной, пренебрегая явлением интергармоники в данный момент, для электрических нагрузок результирующими компонентами тока с большим вкладом обычно являются компоненты на частотах, кратных основной, поэтому произведенные гармоники могут быть численно упорядочены путем ссылки на кратность частоты, представляющей интерес, т.е., например, вторая гармоника - это гармоника на частоте, вдвое превышающей основную. Кроме того, для большинства нелинейных нагрузок, подключенных к сети (например, импульсных источников питания), гармониками с наибольшей амплитудой являются гармоники с нечетным порядком: третья, пятая, седьмая и т.д. Более того, в реальных случаях гармоники обычно имеют большой амплитудный вклад в младших порядковых числах и поэтому уменьшаются, т.е. в общем случае третья гармоника имеет большую амплитуду, чем пятая, пятая, чем седьмая, и т.д. Конечно, даже в этом случае необходимо анализировать отдельные ситуации, поскольку различные нелинейные нагрузки, подключенные к сети, могут генерировать различный гармонический вклад, и, следовательно, сумма этих вкладов может быть различной.



Ссылаясь на генерируемую волну тока, можно определить суммарные гармонические искажения следующим образом:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^{\infty} I_n - I_f}{I_f}$$

где:

**$I_t$**  - общий ток

**$I_f$**  - ток на основной частоте

То же самое относится и к волне напряжения:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^{\infty} V_n - V_f}{V_f}$$

И в целом за передаваемую энергию:

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

Этот показатель, как видно из названия, дает нам информацию об общем уровне искажений, присутствующих в осциллограммах. Естественно, чем больше значение превышает 0, тем дальше форма волны отходит от идеального случая. Наличие гармонических искажений само по себе также создает энергетические проблемы в установках. Фактически, можно показать, что искажение тока также влияет на форму волны напряжения, питающего нагрузки, и поэтому это явление также влияет на линейные нагрузки, подключенные

к системам, а также создает другие потери в системе в результате увеличения рассеиваемой мощности на импедансе линии и внутреннем импедансе генератора. В общем случае линейная нагрузка имеет практически бесконечную полосу пропускания, например, лампа накаливания преобразует всю подводимую к ней электрическую энергию в тепловую, а это значит, что если подать, например, на лампочку напряжение 5 В с частотой 400 Гц, нить накаливания в ней нагреется, и тепло выделится за счет эффекта Джоуля.

Проблема в том, что рассматриваемое преобразование не генерирует световое излучение в видимом диапазоне, вернее, оно будет генерировать минимальное количество светового излучения в видимом диапазоне и, возможно, другие излучения в диапазонах света, не видимых невооруженным глазом, например, в ультрафиолетовом или инфракрасном, поскольку нить накаливания рассчитана на работу на частоте сети.

Это имеет три очень важных следствия:

- Работа за пределами номинальных параметров может привести к преждевременному выходу устройства из строя.
- Поступающая световая энергия имеет нежелательную составляющую, поэтому можно сказать, что избыточная энергия не используется для выполнения работы, для которой предназначено устройство, а, по сути, является лишь помехой.
- Излучение, выходящее за пределы видимого света, может быть вредным для человеческого организма, который подвергается его воздействию.



Если учесть другие типы нагрузки, такие как электродвигатели, насосы и прочее, последствия могут быть еще хуже.

В результате такие искажения передают энергию нагрузкам, которые используют ее частично для выполнения работы, для которой они предназначены, а частично для создания неэффективности, повышающей вероятность выхода нагрузки из строя. Таким образом, помимо экономического ущерба, связанного с увеличением потребления энергии, существует также ущерб, связанный с сокращением срока службы самих устройств.

## 1.5 БАЛАНСИРОВКА ФАЗ

В случае трехфазных систем еще одним фактором, негативно влияющим на качество электроснабжения, является дисбаланс между фазами, т.е. разница между формами сигналов на отдельных фазах электросети, причем эти различия в общем случае могут быть связаны либо с напряжением основной частоты, либо с гармониками. Такие возмущения обычно возникают при смешении однофазных и трехфазных нагрузок в одной линии. Это явление имеет как энергетические последствия для подключенных трехфазных нагрузок, так и последствия с точки зрения эффективности и срока службы устройства. Из литературы в этой области мы узнали, что большинство неэффективных расходов приходится на трехфазные двигатели, подключенные к системе.

## 1.6 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Другой важной помехой, возникающей в нагрузках, подключенных к электросети, является сдвиг фаз между формой волны напряжения и формой генерируемого тока. Фазовый сдвиг между напряжением и током в целом сам по себе не создает энергетических проблем на нагрузках, или, по крайней мере, не создает проблем с точки зрения активной энергии, поглощаемой нагрузками, конечно, наличие фазового сдвига создает неэффективность и большую мощность на этапе передачи энергии. В общем случае даже линейная нагрузка, которая не является полностью омической, создает разность фаз тока по отношению к напряжению питания, либо с опережением, либо с задержкой, в зависимости от того, является ли данная нагрузка омически-емкостной или омически-индуктивной. Это приводит к передаче так называемой реактивной мощности. В частности, реактивная мощность - это мощность, которая не используется нагрузкой для совершения работы, а просто поддерживает магнитное поле. Проблема заключается в том, что реактивная мощность передается через индуктивный ток, что увеличивает нагрузку на электрические кабели, подключенные к сети, и, кроме того, большая циркуляция тока в цепи создает большие потери на последовательных сопротивлениях самой цепи, в частности, на внутреннем сопротивлении генератора и на сопротивлении линии, тем самым создавая омические потери (т.е. активную мощность) в самой системе.

Здесь важны 2 фактора, влияющие на энергетический и экономический баланс системы:

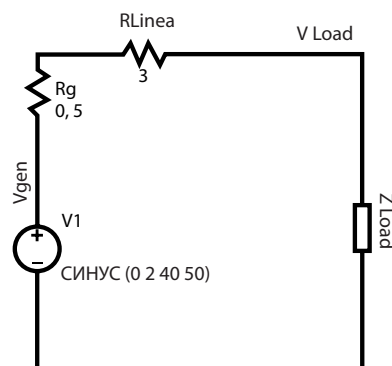
- В некоторых случаях использование реактивной энергии влечет за собой расходы для пользователя в виде штрафов по счёту.
- Циркулирующий реактивный ток приводит к рассеиванию активной энергии в линии.

Мало того, можно просто показать, что этот фактор также влияет на напряжение питания нагрузки, поскольку падение напряжения на линии приводит к снижению полезного напряжения на самой нагрузке при той же суммарной потребляемой мощности, другими словами, передача энергии становится крайне неэффективной. Очень часто, когда речь идет об электрических сетях, принято говорить о коэффициенте мощности, означаям соотношение между полной передаваемой мощностью (кажущейся мощностью) и активной мощностью, и этот коэффициент обычно путают с так называемым тарифом. В частности, последнее утверждение верно только в том случае, если рассматриваются только линейные нагрузки, поэтому для сети с линейными нагрузками тариф соответствует коэффициенту мощности. Однако в общем случае коэффициент мощности также учитывает суммарные гармонические искажения.

## 2. РЕАКЦИЯ НА НАГРУЗКУ

### 2.1 ПРЕДИСЛОВИЕ

В этом разделе мы проанализируем, в том числе с помощью моделирования, поведение нагрузок в присутствии вышеупомянутых возмущений. Для простоты рассмотрим электрическую цепь бытового типа с договорной мощностью 3 кВт, которую можно изобразить следующим образом: Для моделирования будет использована модель с сосредоточенными параметрами.



*В частности:*

- Rg - "внутреннее" сопротивление генератора
- RLinea - это линейное сопротивление сети, обусловленное, главным образом, наличием силовых кабелей для распределения электроэнергии. Для простоты мы пренебрежем

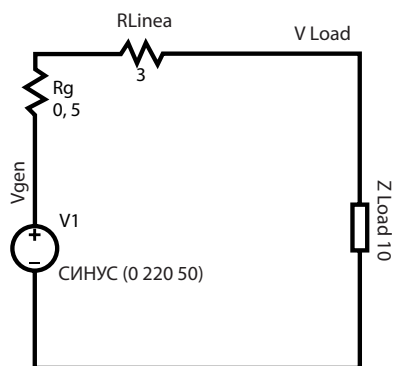
емкостными и индуктивными эффектами импеданса; установленное значение сопротивления 3 Ом соответствует примерно 350 м кабеля со средним сечением 2 кв. мм.

- Z Load - импеданс нагрузки, представленный в виде эквивалентного импеданса генератора. Рассматриваемую схему можно разделить на две части, одна из которых является частью источника питания, а другая - частью нагрузки.

Для того чтобы оценить энергетический баланс самой цепи, мы рассмотрим ряд факторов, которые будут полезны время от времени, но в целом мы сосредоточимся на активной мощности, выдаваемой генератором, и активной мощности, поглощаемой нагрузкой, чтобы мы могли оценить эффективность передачи энергии в различных ситуациях.

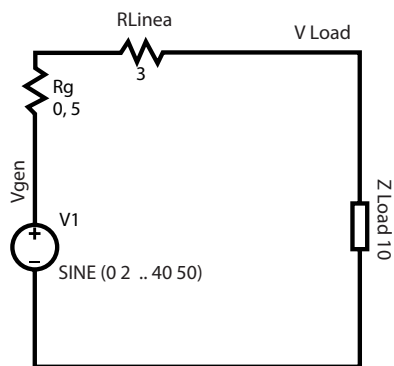
## 2.2 СТАЦИОНАРНОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ НА ОМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

В качестве первого примера рассмотрим наличие чисто омической нагрузки и проанализируем влияние на систему напряжения, превышающего оптимальное, при этом мы будем считать, что оптимальное напряжение составляет 220 В:



Активная мощность, выдаваемая генератором: 1785 Вт

Активная мощность, поглощаемая нагрузкой: 1322 Вт



Активная мощность, выдаваемая генератором: 2124 Вт

Активная мощность, поглощаемая нагрузкой: 1573 Вт

Подведем итоги:

ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ		
	Оптимальное напряжение сети	Высокое напряжение в сети
Напряжение питания:	220В	240В
Линейный ток:	16.28А	17.73А
Коэффициент мощности:	≈ 1	≈ 1
Суммарные гармонические искажения:	0%	0%
Резистивный импеданс нагрузки:	10 Ом	10 Ом
Выходная мощность генератора:	1785 Вт	2124 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	1322 Вт	1573 Вт

## Соображения

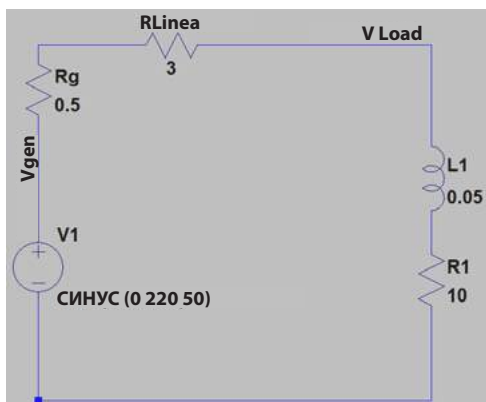
Прежде всего, следует учесть, что в рассматриваемом случае общая мощность, потребляемая генератором, примерно на 16% меньше в случае оптимального энергоснабжения. Естественно, из-за линейности цепи мощность, распределяемая на нагрузку, также на 16% ниже, но, как мы видели при рассмотрении влияния высокого напряжения на нагрузку, это не всегда приводит к увеличению эффективности нагрузки, например, если нагрузка представляет собой одну или несколько ламп накаливания, подключенных параллельно. Конечно, подача на них более высокого напряжения на основной частоте приведет к увеличению световой энергии в видимом диапазоне, но это также приведет к увеличению энергии в других диапазонах излучения светильника, поэтому общая световая мощность в видимом диапазоне будет увеличена не на 16%, а на меньший процент. Более того, выход за пределы оптимального диапазона напряжения для данного светильника означает сокращение срока его службы не на 16%, а гораздо больше: исследования компании Omron, проведенные на примере ламп накаливания, показали, что питание лампы на 240 В сокращает срок ее службы на 55% по сравнению с питанием на номинальном рабочем напряжении.

Еще один фактор, который необходимо учитывать, - это омические потери энергии в сети: в случае оптимального блока питания потери составляют  $(1785 - 1322)\text{Вт} = 463\text{Вт}$ , а в случае более высоковольтного блока питания -  $(2124 - 1173)\text{Вт} = 951\text{Вт}$ , опять же, с относительной точки зрения, потери в процентах одинаковы, но в

абсолютном значении потери мощности больше в случае более высокого напряжения, так как на линии рассеивается примерно на 100 Вт больше, что означает больше энергии, учитываемой на счетчике, и больший нагрев и неэффективность электрических кабелей.

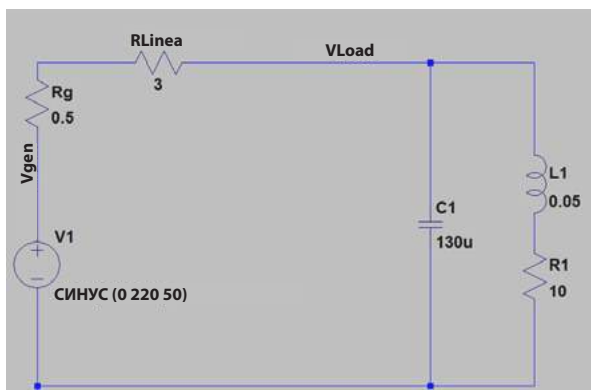
## 2.3 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Теперь рассмотрим наличие в цепи омическо-индуктивной нагрузки:



Выходная мощность генератора: 632 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 561 Вт

Мы вводим параллельно нагрузке емкостное сопротивление, чтобы получить из той же схемы эквивалентный омический импеданс, наблюдаемый от генератора:



Выходная мощность генератора: 758 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 573 Вт

Подведем итоги:

ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ		
	Омический эквивалент нагрузки	Эквивалентная нагрузка омическо-индуктивная
Напряжение питания:	220В	220В
Линейный ток:	5.73А	8.03А
Коэффициент мощности:	0.99	0.66
Суммарные гармонические искажения:	0%	0%
Выходная мощность генератора:	758 Вт	632 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	561 Вт	573 Вт

## Соображения

Для данного случая мы можем отметить два важных соображения:

1. Мощность, выдаваемая генератором в случае индуктивной омической нагрузки, примерно на 18% больше, чем в случае ее омического эквивалента.
2. Фактическая мощность, потребляемая нагрузкой, примерно на 3% выше.

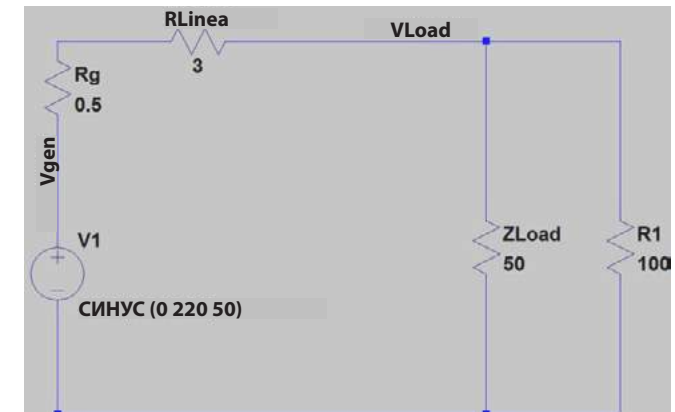
Первое утверждение позволяет нам сказать, что, улучшая коэффициент мощности цепи, мы также получаем значительную экономию общей потребляемой мощности, поэтому энергетический баланс в этом случае положительный, и мы также отмечаем, что сама нагрузка выигрывает, поскольку потребляемая ею мощность при тех же условиях немного выше, чем в предыдущем случае.

Естественно, это условие проверяется при напряжении питания 220 В, при более высоком напряжении проблема более сложная, поскольку включение индуктивной нагрузки приводит к сдвигу фаз с последующим падением напряжения на нагрузке из-за влияния сопротивления линии, естественно, при коррекции коэффициента мощности системы ситуация улучшается с энергетической точки зрения, но в действительности мы оказываемся в прежнем состоянии стационарного перенапряжения нагрузки, поэтому рассеяние на нагрузке должно быть в любом случае изменено, чтобы заставить ее работать в оптимальных условиях, этот

последний фактор дает еще большую экономию и поэтому является желательным элементом, который мы рассмотрим позже.

## 2.4 ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ

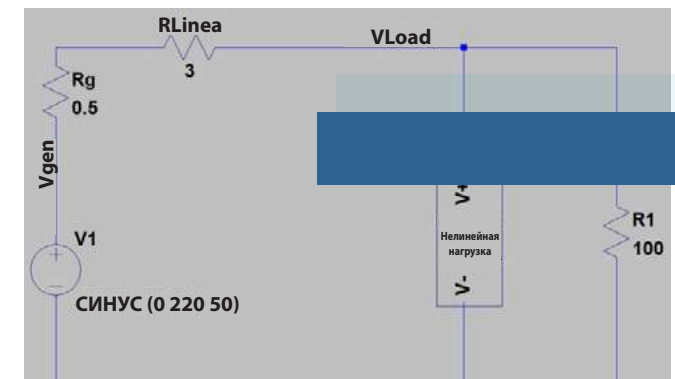
Теперь рассмотрим наличие в цепи смешанных линейных и нелинейных нагрузок:



Выходная мощность генератора: 654 Вт

Мощность, поглощаемая нагрузкой: 592 Вт

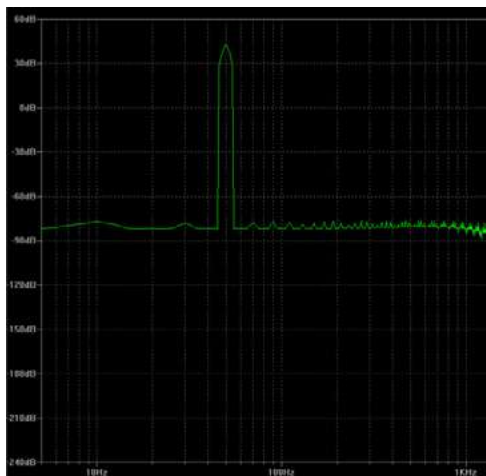
Заменим нагрузку 50 Ом на нагрузку той же мощности, но нелинейную:





Выходная мощность генератора: 656 Вт  
 Мощность, поглощаемая нагрузкой: 586 Вт

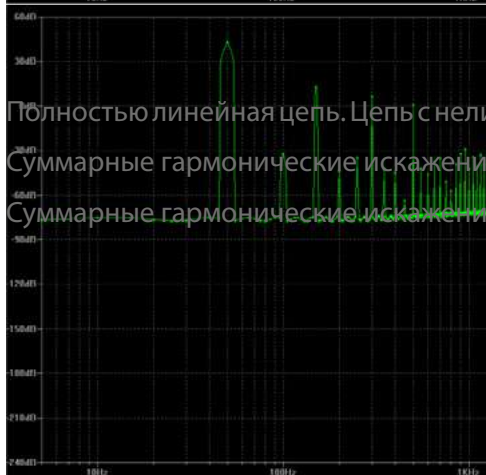
Давайте рассмотрим эту ситуацию подробнее, рассмотрим преобразование Фурье напряжения на нагрузке в полосе 0 - 1 кГц.



Полностью линейная цепь. Цепь с нелинейной нагрузкой

Суммарные гармонические искажения: 0.000473%

Суммарные гармонические искажения: 3.550619%



Подведем итоги:

ИНДУКТИВНАЯ ОМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА - ГАРМОНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ		
	Омический эквивалент нагрузки	Эквивалентная нагрузка омическо-индуктивная
Напряжение питания:	220В	220В
Линейный ток:	4.21А	4.46А
Коэффициент мощности:	≈ 1	0.95
Суммарные гармонические искажения:	≈ 0%	3.55%
Выходная мощность генератора:	654 Вт	656 Вт
Мощность, рассеиваемая на нагрузке:	592 Вт	586 Вт

## Соображения

В данном случае можно отметить три соображения:

- Мощность генератора в случае нелинейной цепи примерно на 0,4 % выше, чем в случае ее омического эквивалента.
- Общая мощность, передаваемая в нагрузку, увеличивается примерно на 1%.
- Мощность, передаваемая в нагрузку на частоте 50 Гц, на 3,5 процента меньше, причем этот процент передается вне диапазона.

В этом случае нелинейная нагрузка генерирует циркулирующий ток с высоким содержанием внеполосных гармоник; сам по себе этот ток не создает проблем для других нагрузок, поскольку циркулирует только между генератором и соответствующей нагрузкой. Проблема заключается в том, что изменение напряжения на импедансе линии также имеет высокое содержание гармоник, и поэтому на общее напряжение питания нагрузки влияют гармонические искажения, зависящие, как уже говорилось, от мощности искажающей нагрузки и импеданса линии. Естественно, эти искажения поглощаются омическими нагрузками и преобразуются в тепло, что, предположительно, не дает никаких преимуществ с точки зрения эффективности, а иногда и существенных недостатков с точки зрения срока службы устройства. Поэтому можно утверждать, что, хотя с точки зрения энергетического баланса, казалось бы, нет значительных отклонений (1%), с точки зрения эффективности нагрузок есть более существенные отклонения (3-4%), поэтому общая мощность, поглощаемая нагрузкой, практически на 5% ниже, если учитывать мощность, полезную для работы (мощность, отдаваемую при частоте 50 Гц).

## 3 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 3.1 ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Оптимизация напряжения - это энергосберегающий метод, который заключается в установке трансформатора последовательно с питающей линией, чтобы уменьшить или увеличить напряжение, доступное для нагрузки.

Оптимизация может происходить статически или динамически в зависимости от того, снижается ли напряжение фиксировано на определенный процент или динамически изменяется во время нормальной работы схемы.

В случае особых нелинейных нагрузок (например, импульсных источников питания) снижение напряжения может даже привести к росту потребления. Фактически, эти нагрузки работают с постоянной мощностью, то есть они всегда потребляют одно и то же количество энергии даже при изменении напряжения, поэтому снижение напряжения приводит к увеличению тока в узле, а значит, и в линии, а этот ток, естественно, увеличивает потери в кабелях передачи и, следовательно, в линии, этот ток, естественно, увеличивает потери в кабелях передачи.

## 3.2 КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Коррекция коэффициента мощности определяется как любая мера, используемая для увеличения (или, как принято говорить, улучшения) коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) данной нагрузки, чтобы уменьшить значение тока, циркулирующего в системе при той же поглощаемой активной мощности. Целью коррекции коэффициента мощности является, прежде всего, снижение потерь энергии и уменьшение поглощаемой мощности в соответствии с существующим оборудованием и линиями на промышленной площадке. Смена коэффициента мощности установок приобрела большую важность, поскольку энергетическая компания ввела договорные условия в рамках тарифных мер Межминистерского комитета по ценам (№ 12/1984 и № 26/1989), обязывающие пользователя перенастраивать свою установку под угрозой штрафа. В цепях с особыми потребителями, такими как лампы накаливания, водонагреватели, некоторые типы печей, кажущаяся потребляемая мощность - это вся активная мощность. В цепях с потребителями, внутри которых имеются обмотки, таких как двигатели, сварочные аппараты, балласты для люминесцентных ламп, трансформаторы, часть поглощаемой кажущейся мощности используется для возбуждения магнитных цепей и поэтому не используется как активная мощность, а как мощность, обычно называемая реактивной мощностью. С точки зрения общего энергетического баланса, коррекция

коэффициента мощности уменьшает количество реактивной энергии, поглощаемой цепью, но не уменьшает непосредственно используемую активную энергию, т.е. уменьшение активной энергии в целом является следствием того, что потери в проводниках уменьшаются, поскольку последовательное сопротивление самих проводников пересекается с меньшим общим током, но в действительности не вся активная энергия сохраняется, поскольку меньшее рассеяние на проводниках приводит к меньшему падению напряжения на нагрузке, а в случае омической нагрузки это означает большее рассеяние энергии.

Однако ясно, что в этом случае избыток энергии положителен для нагрузки, если только мы не имеем дело со стационарными перенапряжениями. Коррекция коэффициента мощности нагрузок может быть централизованной, распределенной или смешанной: в первом случае вся система корректируется перед нагрузкой и перед генератором, поэтому на выходе генератора стоимость улучшается, но не обязательно улучшаются все звенья цепи; во втором случае корректируется коэффициент мощности нагрузки по отдельности, что приводит к улучшению общей стоимости после генератора; в третьем случае используется смешанное решение между первыми двумя. Обычно коррекция коэффициента мощности нагрузки достигается путем размещения генератора реактивной мощности параллельно нагрузке в противофазе с реактивной мощностью нагрузки, так что выходная реактивная мощность аннулируется.

Простейшим генератором реактивной мощности в синусоидальных цепях является конденсатор, поэтому один или несколько конденсаторов устанавливаются параллельно нагрузкам, чтобы добиться улучшения стоимости. Однако существуют и другие методы, такие как статические компенсаторы или активные фильтры.

### 3.3 ГАРМОНИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Фильтрация гармоник в энергосистемах обычно осуществляется путем включения в цепь устройств, снижающих суммарные гармонические искажения обычно в токе, чтобы также улучшить влияние искажений на напряжение. Существует 2 основные категории фильтров, подходящих для этой цели:

- **Пассивные фильтры**
- **Активные фильтры**

В первом случае существует дополнительное различие между настроенными и индуктивными фильтрами. Настроенные фильтры - это специальные фильтры  $RLC$ , настроенные на определенную частоту и обычно подключенные к земле. В некоторых случаях могут использоваться полосовые или высокочастотные фильтры, чтобы создать низкоомный путь к земле для помех на этих частотах и устранить помехи в их источнике. В случае сетевых дросселей, с другой

стороны, принцип работы заключается в LR-фильтрах низких частот. Фактически сетевой дроссель образует с нижележащей омической цепью фильтр низких частот, который не пропускает энергию на частотах, далеких от 50 Гц. Такое решение, конечно, улучшает ситуацию на нагрузке, снижая коэффициент суммарных гармонических искажений, но с точки зрения энергетического баланса

ситуация остается неизменной, ведь помехи направляются на землю, пройдя через счетчик, и поэтому энергия, перенаправленная на землю, по-прежнему учитывается. С точки зрения нагрузки активные фильтры представляют собой параллельные генераторы тока, которые инжектируют ток, равный и противоположный току нагрузки, вносящей внеполосные искажения, и таким образом гасят гармонические токи, генерируемые самой нагрузкой.

Они работают, модулируя напряжение в сети, анализируют ситуацию в сети и вводят компенсационные токи. Естественно, чтобы правильно ввести эти токи, им нужна очень высокая частота коммутации, более чем в два раза превышающая частоту максимальной гармоники компенсации, поэтому им нужны особенно эффективные и быстрые внутренние устройства, обычно используются IGBT для работы на требуемой частоте переключения. Это, естественно, делает такие устройства особенно дорогими. Кроме того, с точки зрения энергетического баланса ситуация аналогична случаю с пассивными фильтрами, поскольку в зависимости от эффективности фильтров  $i$ , эквивалентное количество энергии поглощается для компенсации возмущений. Интересно

то, что активные фильтры могут также повышать стоимость системы, поскольку они также работают как генераторы реактивной мощности. Кроме того, еще один очень интересный аспект заключается в том, что фильтры даже разной мощности могут быть включены параллельно и при этом не нарушать работу схемы и не вызывать резонанса.

### 3.4 ФИЛЬТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Фильтр электромагнитных помех - это пассивный фильтр, используемый в большинстве электронных устройств, позволяющий им соответствовать нормам электромагнитной совместимости, особенно тем, которые касаются кондуктивных излучений. По сути, фильтр электромагнитных помех - это низкочастотный фильтр, который подключается в качестве последнего каскада между оборудованием и источником питания, чтобы ослабить шумовые компоненты, которые склонно излучать любое электронное устройство. Очевидно, что фильтр должен быть прозрачным на частоте питания (50-60 Гц), чтобы устройство функционировало должным образом, в то время как он должен действовать в частотном диапазоне, установленном стандартом (150 кГц-30 МГц).

### 3.5 ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ

На рынке существует ряд устройств, позволяющих профилировать потребление пользователей, то есть понять, как они расходуют электроэнергию в течение определенного интересующего их периода. Конечно, сами по себе такие системы не улучшают энергопотребление пользователя, но они имеют два важных последствия, которые позволяют оптимизировать потребление:

- Осведомленность пользователей о потреблении может привести к повышению внимания и экономии.

- Внедрение экспертной системы, анализирующей и обрабатывающей эти данные, может привести к более эффективному управлению энергопотреблением и существенной экономии, не меняя привычек потребления.

## 4. ANT

### 4.1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

Прежде чем перейти к рассмотрению преимуществ проекта, необходимо сделать некоторые пояснения по проблемам, которые мы рассматривали в предыдущих главах, и решениям, представленным на рынке в настоящее время.

Затем мы рассмотрели системы оптимизации напряжения. На рынке представлены различные типы таких систем, хотя на практике они представляют собой устройства, которые просто снижают напряжение в сети, некоторые статически, другие динамически, последние включают стабилизаторы напряжения. Очевидно, что в этом случае система оптимизации напряжения может быть полезна для экономии средств, но нужно быть очень внимательным к тому, как она работает. Статическое понижение напряжения, конечно, не является эффективным решением, поскольку повышение или понижение напряжения обычно зависит от условий нагрузки. Конечно, в этом случае необходимо следить за

состоянием питающей линии, так как это может создать проблемы в работе или повредить сами нагрузки. На практике перенапряжение или стационарное пониженное напряжение могут быть положительными или отрицательными для системы в зависимости от того, имеем ли мы дело с нагрузками переменной мощности или постоянной мощности (питаемые - нелинейные), для которых правильный режим работы не может быть предсказан априори.

Затем мы изучили системы коррекции и фильтрации коэффициента мощности, и снова нам предстоит сделать много уточнений с точки зрения энергетики и безопасности установки. В частности, предположим, что мы имеем дело с системой с преимущественно омическо-индуктивной нагрузкой и при наличии стационарного перенапряжения, в этом случае, в зависимости от коэффициента мощности нагрузки, будет наблюдаться падение напряжения определенной величины между генератором и самой нагрузкой, это падение напряжения может привести нагрузку к номинальному значению напряжения, внедрение системы коррекции коэффициента мощности и фильтрации дает увеличение коэффициента мощности, следовательно, снижение тока в последовательной ветви цепи и, следовательно, увеличение полезного напряжения на нагрузке. Последнее очень часто приводит к большей трате активной энергии в зависимости от соотношения импеданса линии и импеданса нагрузки. То же самое относится, как мы смогли убедиться в результате моделирования, к гармоническому вкладу в линейные токи и напряжения, в данном случае усиленному и

усугубленному тем, что при наличии гармонических возмущений возникает проблема безопасности нагрузок и всей системы.

Проект ANT родился из необходимости объединить положительный вклад отдельных рассматриваемых технологий в единый продукт. Настоящей новинкой и важнейшей добавленной стоимостью продукта является именно динамический подход к управлению нагрузкой. В частности, устройство способно мгновенно анализировать электрическую сеть, к которой оно подключено, с точки зрения как электропитания, так и нагрузки, и оптимально питать нагрузку в любой рабочей конфигурации. Устройство способно анализировать параметры сети с точностью до 0,1% как по спектрам напряжения, так и по спектрам тока, и, анализируя уровень излучения нагрузок, понимать внутренний состав сети, а также интерпретировать вклад отдельных импедансов, с особым учетом разницы между импедансами нагрузки и передаточными и паразитными импедансами, так что устройство способно оптимизировать передачу мощности на импедансы нагрузки, минимизируя передаточные и паразитные потери.

Проект ANT был создан в ответ на растущую потребность в оптимизации передачи энергии между любым электрическим генератором и сетью подключенных к нему нагрузок.

В данном контексте под оптимизацией мы понимаем ряд мер по улучшению качества электроэнергии на входе в систему и компенсации негативных эффектов, вызванных вводом нагрузок, как мы видим из проанализированных симуляций.

Следует отметить, что в настоящее время, в том виде, в котором система существует, не существует равноценных альтернативных решений, но есть продукты-заменители, приближенные к предлагаемому решению.

## 4.2 ОПИСАНИЕ ТЕКУЩЕГО ПРОЕКТА / УСТРОЙСТВА

Система для адаптации импеданса электрических цепей потребителей к импедансу генератора, для повышения эффективности установок, защиты устройств и экономии энергии.

Подключившись к электросети, устройство способно анализировать все параметры работы сети, как внешнее качество электроэнергии, так и внутренние факторы возмущения. Он может ослаблять помехи и использовать энергию для оптимизации напряжения и внутренних токов. Он также способен сбалансировать профиль нагрузки по фазам и напряжениям питания, поэтому он также способен сбалансировать трехфазные токи. Профиль работы полностью настраивается и может управляться удаленно, как и данные анализа сети. Продукт включает в себя базовый вариант под названием ANT версии 2.1, вариант TG, включающий в себя функции удаленного управления устройством, о чем подробнее сказано выше, и вариант TL, включающий в себя функции удаленного чтения, о чем подробнее сказано выше.



Устройство подключается к системе, будь то бытовая или коммерческая, ниже по течению от счетчика и на входе в первичную распределительную линию. Подключившись к цепи, способно рассчитать сопротивление, с которым счетчик взаимодействует с цепью, и оптимизировать это сопротивление, чтобы улучшить передачу энергии между счетчиком и системой, эффективно снижая энергию, рассеиваемую системой из-за факторов, не связанных с использованием самих устройств. Кроме того, устройство работает как оптимизатор качества электроэнергии по отношению к входящей линии. Качество электроэнергии - это свойство электросети эффективно передавать энергию потребителям и максимально исключать потери.

### **Удаленное управление**

Устройство с дистанционным управлением включает в себя все основные функции с дополнительной возможностью полного дистанционного управления всеми установленными приборами. Удаленное управление устройствами очень важно для улучшения рабочих параметров устройства, так как существует возможность удаленно перенастроить каждое отдельное устройство в соответствии со стандартной рабочей ситуацией. Кроме того, с помощью удаленного управления можно в любой момент из собственного офиса получить полную картину рабочего состояния устройств и, при необходимости, обойти каждое устройство, отключив его от системы, к которой оно подключено. Кроме того, в случае поломки устройства можно получить информацию о типе неисправности,

а если какая-либо деталь сломалась внутри, то можно заранее узнать, какая деталь нуждается в замене, и обеспечить более точное и эффективное обслуживание, естественно, с возможностью связаться с клиентом напрямую и сообщить ему о неисправности и об оказании услуг.

### **Мониторинг**

Продукт, разумеется, оснащен сетью внутренних датчиков, которые проверяют функционирование всех отдельных внутренних компонентов для мониторинга всех рабочих параметров устройства и, таким образом, способны немедленно определить наличие каких-либо аномалий или сбоев в работе системы и сообщить в сервисную службу о возникшей проблеме и возможных решениях, которые необходимо применить для ее оперативного устранения.

### **Программное обеспечение**

С архитектурной точки зрения, телеуправляемый продукт состоит из центрального выделенного сервера, который взаимодействует со всеми устройствами, чтобы всегда знать ситуацию и рабочие параметры всех подключенных устройств. Кроме того, компания имеет возможность в любое время получить доступ к программному обеспечению и проверить состояние всех устройств, а также изменить конфигурацию каждого отдельного устройства и, при необходимости, отключить его от системы - все это просто и быстро. Существует также возможность предоставления

специализированного программного обеспечения другим пользователям, обслуживающим отдельные зоны, чтобы они могли управлять всеми устройствами в своей зоне. Разумеется, в каждом случае и компания, и поставщик услуг получают уведомления о возможных неисправностях устройств, а возможно, и сервисные заявки, которые необходимо обработать.

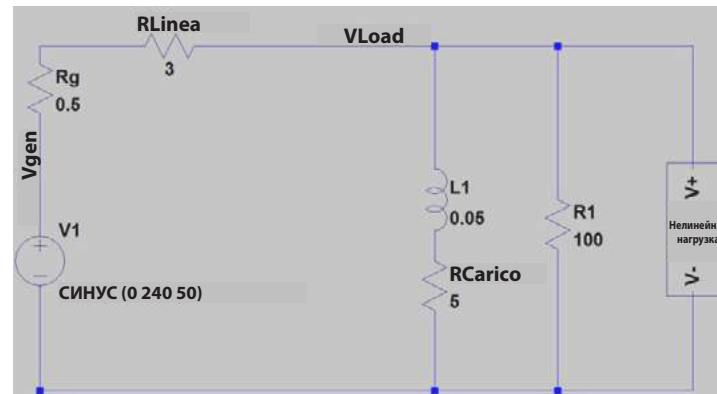
### **Удаленное считывание**

Изделие с дистанционным снятием параметров включает в себя все функциональные возможности телеуправляемого продукта, а также возможность получения всех данных о потреблении пользователя, и все это на единой, простой и функциональной платформе. Функции удаленного считывания доступны компании, они также могут, по усмотрению компании, быть доступны сервисной сети, но прежде всего они могут быть доступны отдельным пользователям, владеющим устройством. Пользователи могут получить удобный доступ к своим профилям потребления как через веб-сайт компании, так и через смартфоны и планшеты с помощью одного простого и интуитивно понятного интерфейса. Новшество заключается в том, что благодаря системе можно отслеживать не только потребление электроэнергии, но и воды, газа, а также управлять данными о производстве любых возобновляемых источников энергии в недвижимости, таких как фотоэлектрические, мини-ветровые, солнечные тепловые и другие системы.

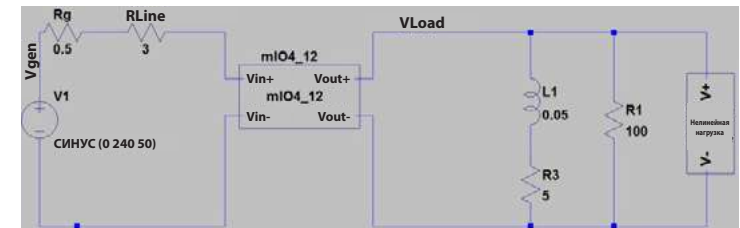


## 4.2 ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Теперь посмотрим, как система взаимодействует с электрической системой, моделируя реальную ситуацию, в которой присутствуют стационарные перенапряжения, сдвиг фаз и наличие нелинейных нагрузок. В данном случае, как видно из диаграммы, мы не учитываем нелинейность линии электропередач, то есть не учитываются возмущения извне, а только возмущения, генерируемые во внутренней линии:

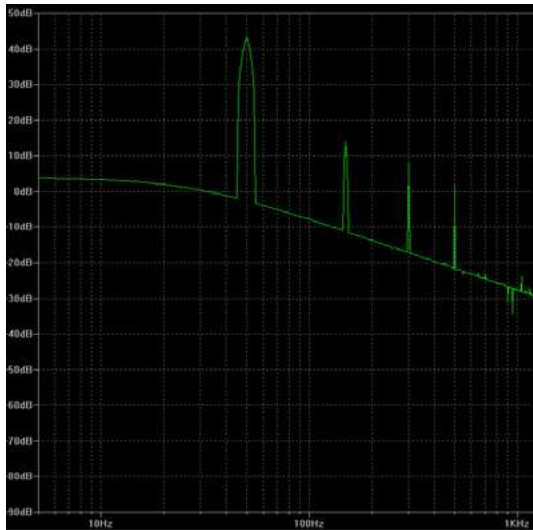


Выходная мощность генератора: 1094 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 738 Вт

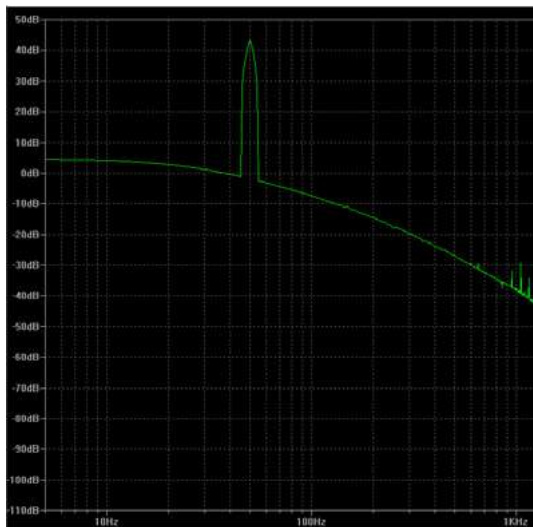


Выходная мощность генератора: 843 Вт  
Мощность, поглощаемая нагрузкой: 756 Вт

Анализ гармоник напряжения питания нагрузки (VLoad):



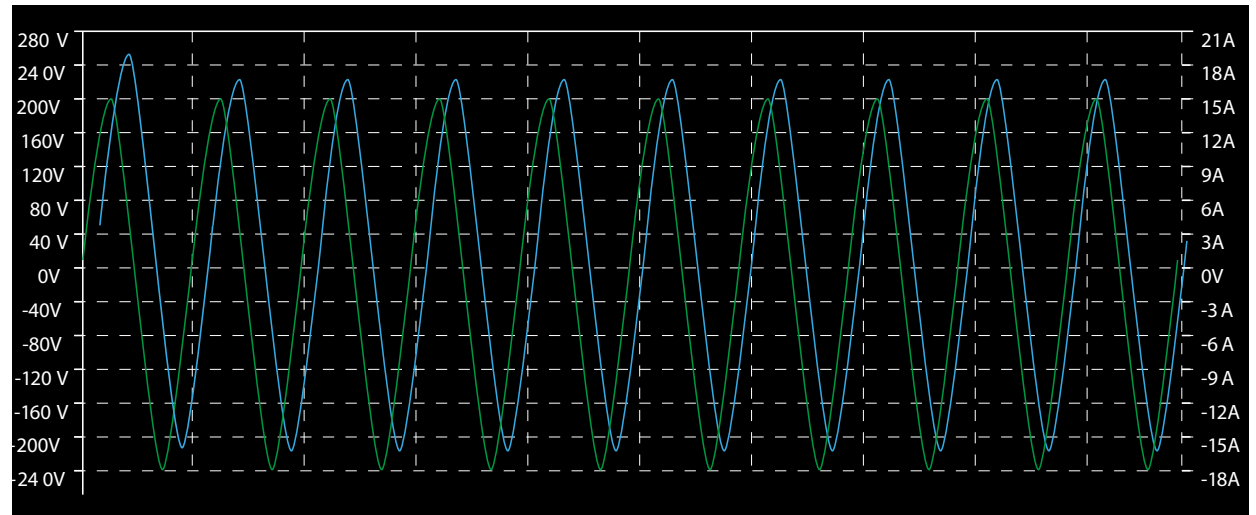
Суммарные гармонические искажения: 3.479955%



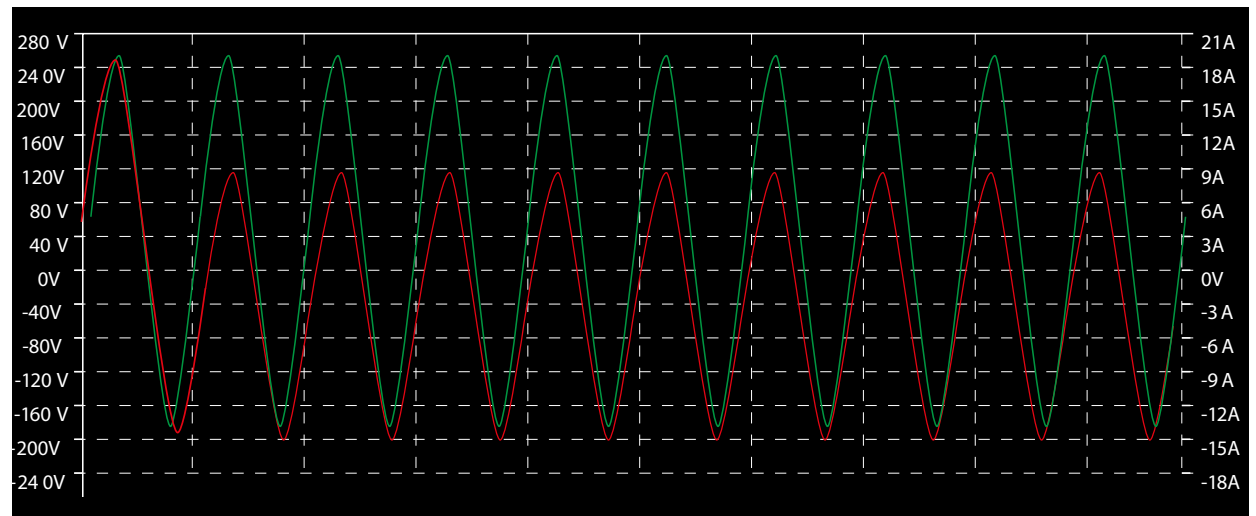
Суммарные гармонические искажения: 3.479955%

Результирующие формы сигналов:

**Без ANT:**



**С ANT**



## Эффекты установки АНТ

	Без АНТ	С АНТ
Напряжение питания:	240В	240В
Линейный ток:	10А	5А
Коэффициент мощности:	0.64	0.99
Суммарные гармонические искажения:	3.5%	0.01%
Активная мощность, выдаваемая генератором:	1094 Вт	843 Вт
Активная мощность, рассеиваемая на нагрузке:	738 Вт	756 Вт

### СООБРАЖЕНИЯ

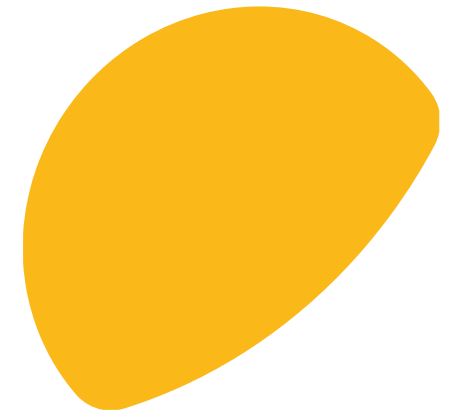
- Активная мощность, распределяемая генератором без системы, составляет более 18%;
- КПД на нагрузке составляет около 3% при активации системы
- Суммарные гармонические искажения напряжения на нагрузке при включенном устройстве незначительны, иначе они составляли бы около 3,5%. Таким образом, нагрузка на систему (50 Гц) оптимизируется более чем на 3%.
- Коэффициент мощности контура значительно увеличивается и приближается к максимально допустимому значению.
- После включения системы циркулирующий ток уменьшается примерно на 50 процентов, и, следовательно, потери в кабеле значительно ниже.

» Пишется  
ESE, читается  
EASY, легко  
как экономить  
энергию.





**» Откройте для себя  
мир ESE  
и все возможности  
для вашего бизнеса!**





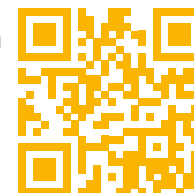


**Зарегистрированный офис**  
Корсо Джузеппе Гарибальди, 86  
20121 Милан (провинция  
Милана) Италия

**Административный штаб**  
Виа Сан-Мартино, 87  
Парко-дей-Чильеджи  
82016 Монтесарчио (провинция  
Беневенто) Италия

+39 02 87.368.229  
+39 02 87.368.222  
[info@ese.energy](mailto:info@ese.energy)  
техническая помощь  
[service@ese.](mailto:service@ese)  
energyК.Ф. и П.И:

08999150967  
Экономико-административный  
реестр: MI2061570  
[www.ese.energy](http://www.ese.energy)  
следите за нами на  



Отсканируйте qr-код  
и откройте для себя **ESE.**  
**ENERGY**