

КОМПЬЮТЕРЫ И ТРЕХФАЗНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Владимир Капустин, Александр Лопухин

Итак, вы нажали кнопку POWER на своем компьютере (сервере и т. п.). Масса книг и справочников расскажет вам, что появится после этого на дисплее и как работать с различными прикладными программами. Но иногда происходит то, о чем в этих книгах не пишут: вдруг на экране дисплея начало дрожать изображение, сбилась программа, дисплей мигнул и компьютер стал снова загружаться или (самый тяжелый случай) экран компьютера погас и запахло паленой изоляцией.

В таких случаях легко выясняется, что причина кроется в плохой силовой электрической сети. Вы обращаетесь за консультацией, и обычно вам советуют купить источник бесперебойного питания (ИБП) или сетевой фильтр. Но иногда и это не помогает.

Решая задачу электропитания вычислительной системы, состоящей из некоторого числа однофазных потребителей (компьютеров, разветвителей и др.), часто не учитывают того, что система в целом подключена к трехфазной электрической сети.

Электрическая сеть. История

Сначала небольшой исторический экскурс. Начинались электрические сети просто: был генератор и от него тянулись два провода, к которым желающие могли подключить электрическую лампочку, мотор и тому подобные устройства.

Многие, зная, что к их розетке подходят два силовых провода, думают, что, с точки зрения подключения нагрузки, с тех пор ничего не изменилось.

На самом деле в 1891 году произошло событие, усложнившее эту простую схему. Русский ученый Доливо-Добровольский изобрел трехпроводную трехфазную сеть. Преимущества трехфазной сети для энергетиков настолько велики, что даже в обозримом будущем специалисты не видят ей альтернативы.

Классическая трехпроводная трехфазная сеть создавалась для подключения трехфазных нагрузок (в основном электродвигателей) и идеально подходит для них. В случае трехфазной нагрузки токи, потребляемые в каждой из фаз, одинаковы. Поэтому все три фазных напряжения также одинаковы.

В случае если в трехфазную сеть включены однофазные нагрузки (электрические лампы, компьютеры и т. д.), сопротивления нагрузки в разных фазах могут оказаться неодинаковыми. Фазные напряжения в классической трехфазной сети также станут разными. Например, если две фазы мало нагружены, а третья сильно нагружена, то напряжение в сильно нагруженной фазе будет намного ниже номинального – 220 В (напряжение может оказаться недостаточным для нормальной работы оборудования), а напряжение в недогруженных фазах будет намного больше номинального (и подключенное к ним оборудование может выйти из строя). Описанное явление электрики называют перекосом фаз.

Для того чтобы выровнять напряжения в трехфазной электрической сети, в схему был введен еще один, так называемый нейтральный провод, или просто «нейтраль» (рис. 1).

По нейтральному проводу течет ток, компенсирующий разность токов в отдельных фазах. Благодаря этому напряжения в разных фазах выравниваются.

Теперь понятно, насколько опасным может быть обрыв нейтрального провода. Этот вид неисправности немедленно приведет к перекосу фаз и повреждению однофазного оборудования.

Значительная часть мощности трехфазной электрической сети потребляется трехфазными нагрузками (электродвигателями, печами и т. д.). Каждая из трехфазных нагрузок одинаково нагружает все три фазы сети. В случае если основную часть мощности сети потребляют однофазные нагрузки, например в офисном здании, электрики стараются распределить нагрузку по фазам более или менее равномерно. На рис. 2 приведена типичная осциллограмма токов в трехфазной электрической сети, нагруженной лампами или электродвигателями. Токи в линейных проводах отличаются не более, чем на 25%. Поэтому ток в нейтральном проводе невелик. Он составляет не более 20% от среднего тока в линейных проводах.

В расчете на эту типичную картину нейтральный провод обычно делают тоньше остальных проводов трехфазной электрической сети. Например в трехфазном силовом кабеле, рассчитанном на мощность сети около 70 кВА, линейные провода имеют сечение 35 кв. мм, а нейтральный

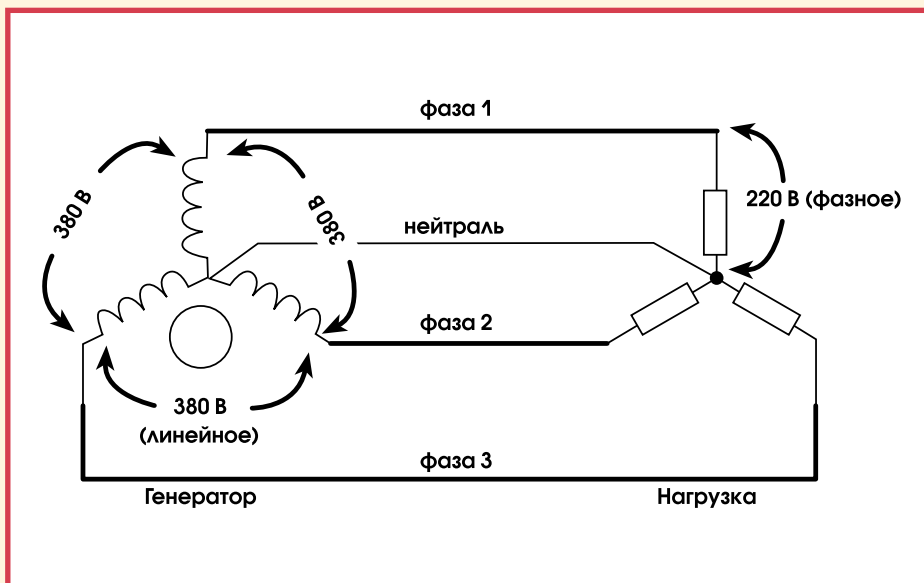


Рис. 1. Четырехпроводная трехфазная сеть

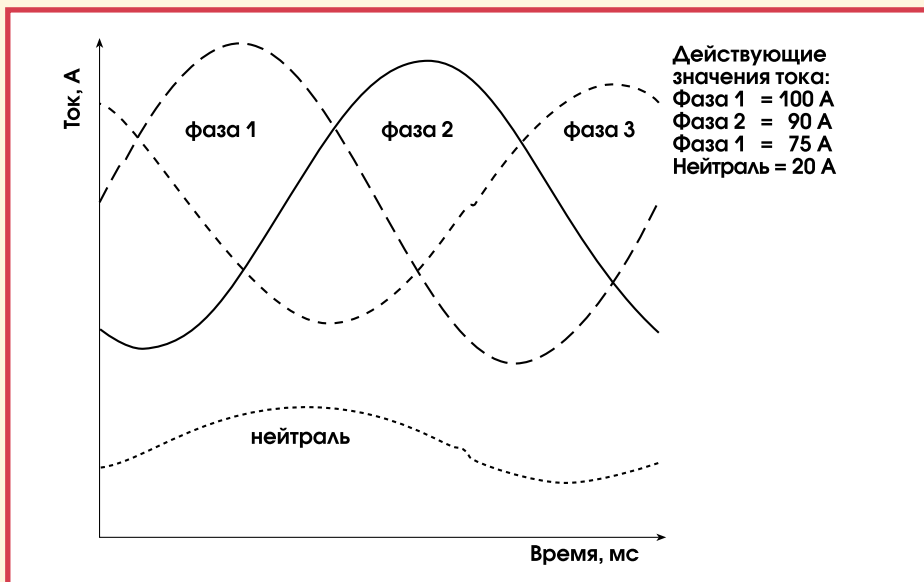


Рис. 2. Осциллограмма токов в трехфазной сети

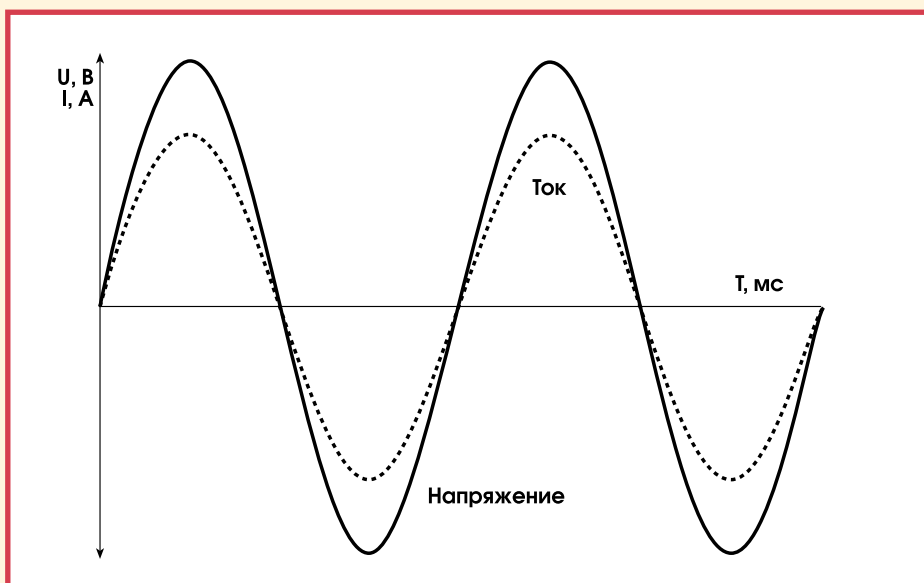


Рис. 3. Напряжение и ток линейной нагрузки

провод – 16 кв. мм. Это позволяет сэкономить много дорогой меди и обычно не представляет опасности, так как ток, протекающий через нейтральный провод, невелик.

С появлением компьютеров, имеющих бестрансформаторные импульсные блоки питания, положение сильно ухудшилось. Чем же опасны для сети эти блоки питания?

Линейные и нелинейные нагрузки

Если мы подключим к источнику синусоидального переменного напряжения (например, к сети или к ИБП с синусоидальным выходным напряжением) сопротивление, емкость, индуктивность или любое сочетание этих нагрузок, зависимость тока в цепи от времени тоже будет иметь форму синусоиды (рис. 3). Такие нагрузки (потребители электроэнергии) называются линейными.

Если к источнику синусоидального напряжения подключить компьютер, то зависимость тока, потребляемого компьютером, от времени будет иметь вид, показанный на рис. 4.

На рисунке хорошо видно, что компьютер потребляет ток только в моменты, когда напряжение близко к своему максимуму, и не потребляет ток при низком напряжении.

Нагрузки, у которых при синусоидальном питающем напряжении форма кривой потребляемого тока заметно отличается от синусоидальной, называют нелинейными. К ним относятся и компьютеры.

Такую форму тока можно получить, если искусственно соединить несколько синусоид, имеющих кратные частоты, – гармоник. Гармоники нумеруют по мере роста их частот. Первая гармоника имеет частоту 50 Гц, вторая – 100 Гц, третья – 150 Гц и так далее. Разложенный на гармоники сигнал обычно представляют в виде спектра – графика, где по вертикали показана амплитуда гармоники (обычно в процентах от действующего значения всего сигнала), а по горизонтали ее номер, причем первую гармонику обычно не показывают. На рис. 5 показан такой график для потребляемого компьютером тока.

Как видно из этого графика, гармоники имеют только нечетные номера.

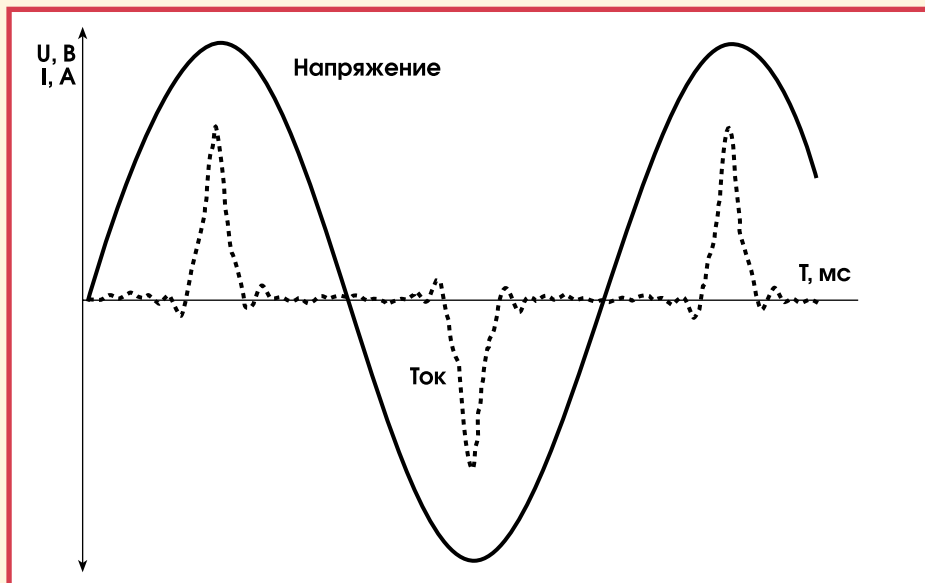


Рис. 4. Ток импульсного блока питания

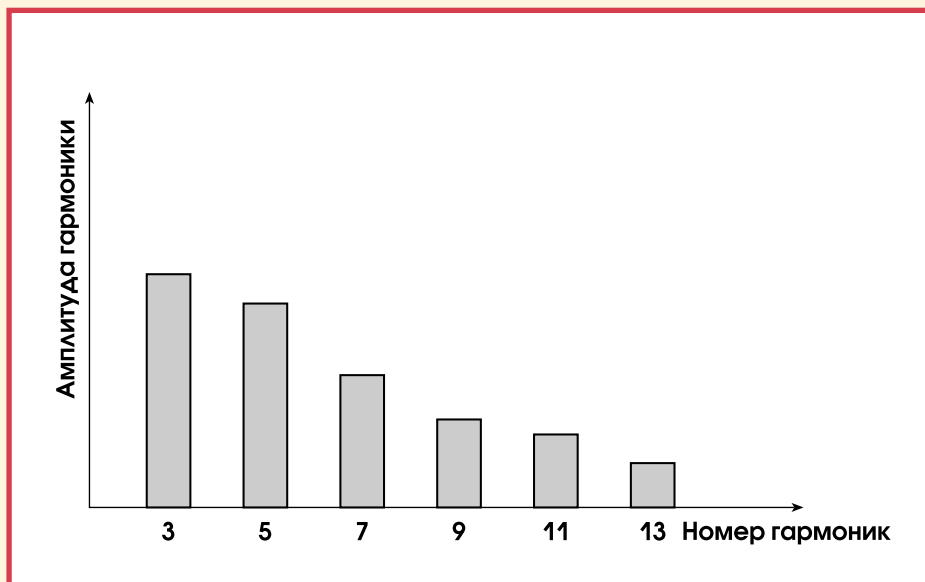


Рис. 5. Спектр тока импульсного блока питания

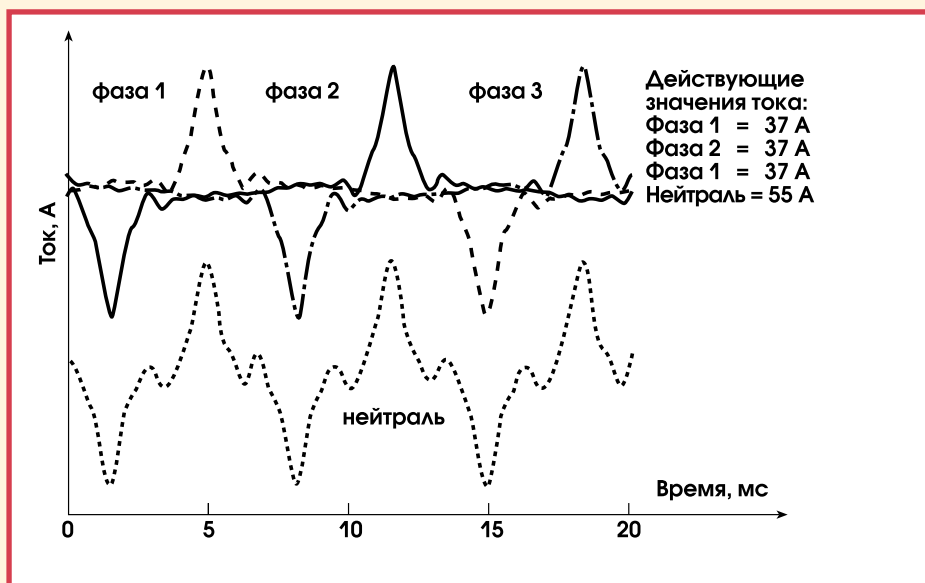


Рис. 6. Осциллограмма для несинусоидальных токов в трехфазной сети

Кроме того, по мере роста частоты (номера гармоник) их интенсивность падает. Наибольшую интенсивность имеет третья гармоника.

Гармоники и трехфазная сеть

Чем плохо наличие гармоник?

Оказывается, что великолепный механизм компенсации дисбаланса токов, на котором построена четырехпроводная трехфазная электрическая сеть, очень плохо работает с несинусоидальными токами. На рис. 6 показана осциллограмма для несинусоидальных токов в трехфазной электрической сети.

Действующие значения токов в каждой из фаз одинаковы. Несмотря на это, ток в нейтральном проводе не равен нулю, как можно было бы ожидать. Его амплитуда примерно равна амплитуде токов в линейных проводах, а действующее значение существенно превышает действующее значение токов в линейных проводах.

Вспомним теперь, что нейтральный провод может иметь намного меньшее сечение, чем линейные провода. Если трехфазная сеть нагружена «компьютерными» потребителями хотя бы на 50%, то налицо опасная перегрузка нейтрального провода. Опасно также то, что этой перегрузки никто не заметит. На нее не реагирует ни один прибор защиты. Ведь на нейтральном проводе не устанавливают измерительных приборов. Нейтральный провод по правилам техники безопасности запрещено защищать плавкими или автоматическими предохранителями.

Перечислим наиболее очевидные следствия перегрузки нейтрали.

Повышенное тепловыделение в нейтральном проводе и его обрыв, возможен даже пожар.

Искажение формы кривой напряжения. Искажение формы напряжения в силовой сети чаще вызывается не перегрузкой линейного провода, как многие ошибочно думают, а перегрузкой более тонкого нейтрального провода. Характерным признаком искажений является плоская вершина синусоиды напряжения. Характерное следствие — искажение изображения на мониторах.

Большое падение напряжения на нейтральном проводе. При значи-

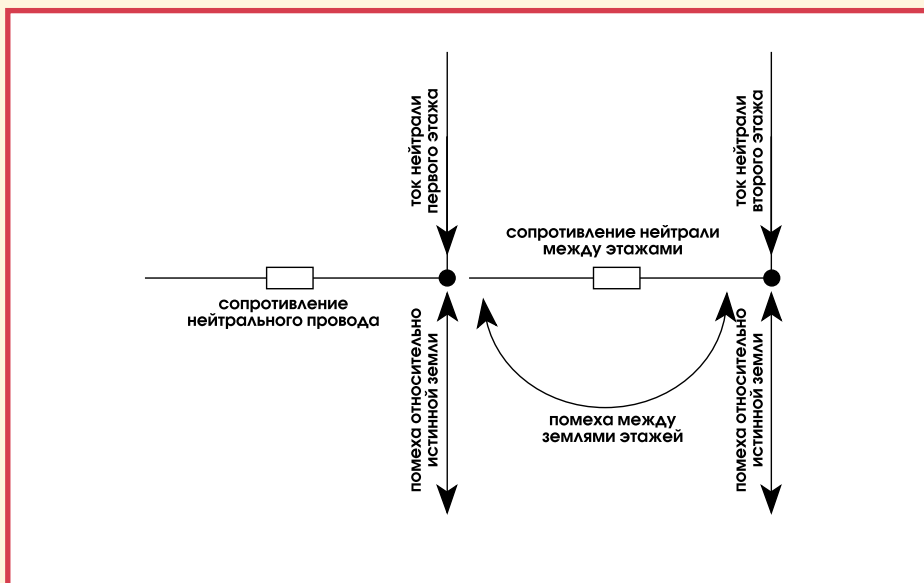


Рис. 7. «Заземление» компьютерной сети с помощью нейтрального провода

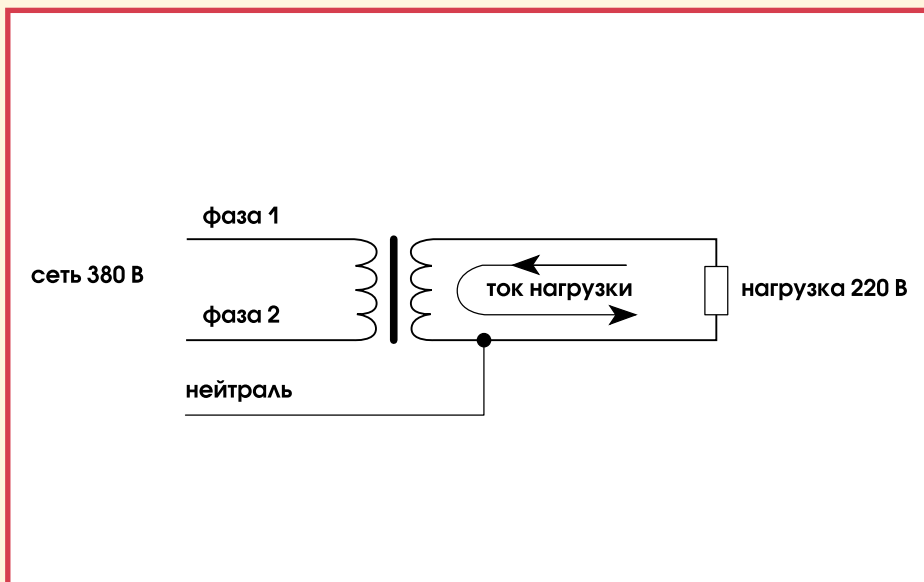


Рис. 8. Разделительный трансформатор

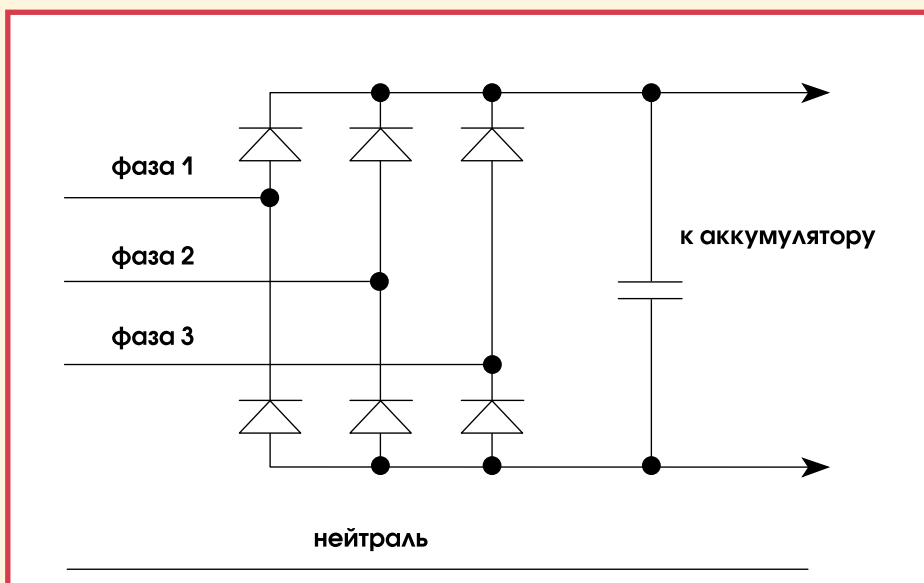


Рис. 9. Выпрямитель трехфазного источника бесперебойного питания

тельных токах в нейтральном проводе малого сечения падение напряжения на нейтрали может быть довольно велико. Его амплитуда при этом может достигать десятков вольт.

Посмотрим на характерную схему подключения компьютеров в здании (рис. 7). Мало какие предприятия готовы вкладывать большие деньги в организацию хорошего заземления. Заземление в большинстве случаев сводится просто к подключению «земли» (то есть третьего провода «компьютерной» розетки) к нейтрали в силовом щите.

На рисунке показан наиболее часто встречающийся в жизни случай, когда предприятие занимает несколько этажей здания и на каждом этаже есть отдельный щиток со своей «землей». Для простоты ограничимся двумя этажами (двумя силовыми щитками), каждый со своей «землей».

Видно, что токи, протекающие по нейтрали, создают разность потенциалов между «землями» этажей (щитков).

Если компьютеры соединены в локальную сеть, то эта помеха приложена фактически между сетевыми платами компьютеров, расположенных на разных этажах. В результате происходят не только сбои при передаче информации, но и выход из строя компьютеров или их узлов.

Как бороться с этим неприятным явлением? Естественно, вам может прийти в голову «оригинальная» мысль – надо провести «землю» по всему зданию от щитка на первом этаже. Но по правилам электробезопасности в каждом силовом щитке нейтральный провод положено заземлять (соединять с корпусом щитка). Поэтому придется применять общие методы борьбы с перегрузкой нейтрального провода.

Методы борьбы с перегрузкой нейтрали

Самый простой путь – применение понижающего разделительного трансформатора. На рис. 8 показан трансформатор, вход которого подключен к линейному напряжению (380 В). На выходе трансформатор имеет напряжение 220 В. Как следует из рисунка, ток в нейтраль не идет, так как входная обмотка трансформатора не име-

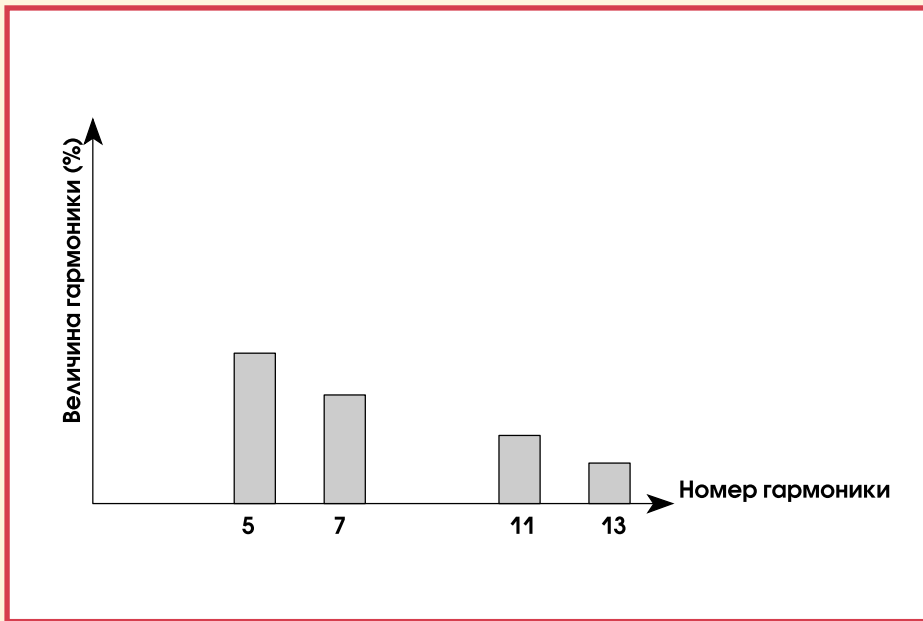


Рис. 10. Спектр входного тока трехфазного ИБП с двойным преобразованием энергии

ет с ней контакта. Поэтому при использовании нейтральных проводов в качестве заземления помеха между «землями» не возникает.

Помимо всего прочего, это частично решит проблему равномерного распределения нагрузки по фазам, так как оборудование, подключенное к трансформатору, нагружает не одну фазу, а две, причем одинаково.

Еще лучше, если этот трансформатор выполняет функции стабилизатора напряжения или источника бесперебойного питания (ИБП).

Наиболее радикальным способом решения проблемы является применение ИБП с трехфазным входом и с двойным преобразованием энергии (on-line). Так как практически все такие ИБП имеют на входе как минимум шестиимпульсный выпрямитель, то они выпрямляют не фазное,

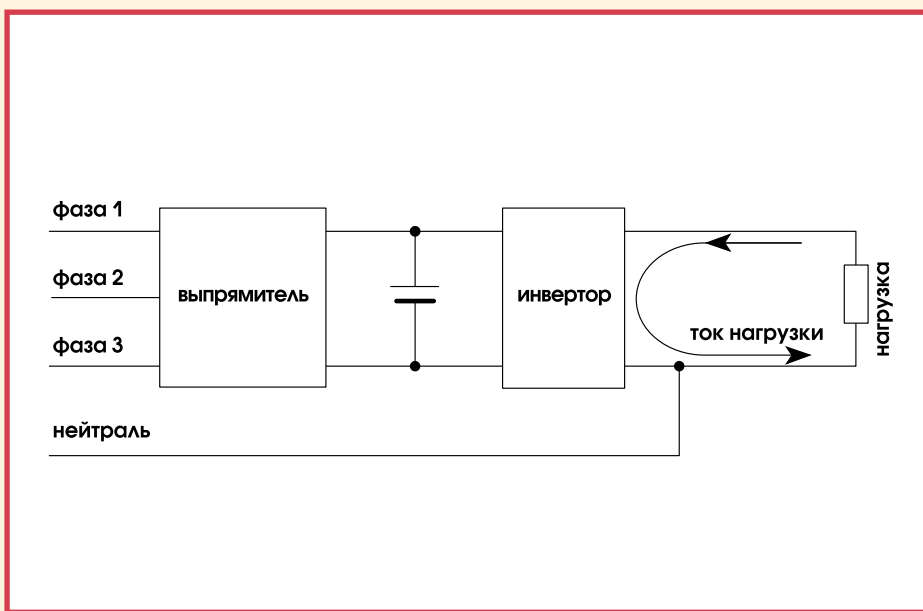


Рис. 11. Разгрузка нейтрального провода с помощью ИБП с трехфазным входом и однофазным выходом

а линейное напряжение и, как видно из рисунка, нейтраль вовсе не нагружается (рис. 9).

Трехфазный ИБП не только разгружает нейтральный провод. Он также уменьшает искажения формы кривой тока за счет ликвидации всех гармоник, кратных 3. Исчезает не только наиболее мощная третья гармоника, но и девятая и пятнадцатая гармоники (рис. 10).

Кроме того, применение трехфазного ИБП автоматически решает вопрос равномерного распределения нагрузки по фазам.

Некоторые трехфазные ИБП средней мощности имеют однофазный выход. Но даже ИБП с трехфазным входом и однофазным выходом позволяет разгрузить нейтраль, как показано на рис. 11.

Мощные трехфазные ИБП, как правило, позволяют применять на своем входе 12-импульсный выпрямитель, который еще более снижает уровень отдаваемых в сеть гармоник, ликвидируя пятую гармонику, и понижают требуемую мощность дизель-генератора, питающего ИБП, если он есть в системе бесперебойного питания.

Перечислим основные преимущества применения трехфазных ИБП с двойным преобразованием энергии.

1. Разгрузка нейтрали и равномерное распределение мощности по фазам.
2. Высшая степень защиты оборудования и возможность повышения надежности путем горячего резервирования.
3. Стабилизация напряжения (хороший ИБП стабилизирует напряжение с погрешностью около 1%).
4. Фильтрация гармонических искажений и шумов (системы с двойным преобразованием являются практически идеальными сетевыми фильтрами).
5. Фильтрация коротких высоковольтных импульсов (они могут возникать из-за коротких замыканий, ударов молнии рядом с линией электропередачи и т. п.) и относительно более длинных импульсов, связанных с включением или отключением мощных нагрузок, питающихся от этой же подстанции.
6. Снижение необходимой мощности дизель-генератора для работы в системе. ●