

К. Н. Киселёв, В. Н. Тимофеев

Уменьшение уровня высших гармоник тока в коммунально-бытовых и компьютерных сетях.

Эксплуатация электроустановок современных зданий, особенно офисного типа подразумевает использование целого ряда устройств, которые служат для обеспечения качественного и бесперебойного электропитания потребителей. Это источники бесперебойного питания (ИБП), стабилизаторы напряжения, сетевые фильтры и т.д. Все они предъявляют различные требования к собственным условиям эксплуатации (качество питающего напряжения, используемая система заземления и зануления). Большинство современных электронных устройств использует импульсные источники электропитания (ИИП). Они отличаются от прежних тем, что традиционный понижающий трансформатор и выпрямитель заменены непосредственным управляемым выпрямлением поступающего из сети тока. Этот ток заряжает накопительный конденсатор, с которого уже выпрямленный ток подается на нагрузку способом, обеспечивающим необходимые напряжение и силу тока. Недостатком таких схем является то, что кроме преобразования переменного тока сети в выпрямленный ток, источник питания создает импульсы тока, содержащие большое количество гармоник. На входе источника электропитания ставится простой фильтр, который отсекает высокочастотные составляющие от линии и нейтрального провода и направляет их на землю. Но этот фильтр не отфильтровывает токи гармоник, которые протекают обратно в источник питания. Влияние на электросеть однофазных ИБП очень похоже на поведение ИИП. Источниками гармоник также являются электронные балласты люминисцентных ламп и приводы с регулируемой скоростью вращения

Разложение несинусоидального (искаженного) периодического сигнала на набор синусоидальных сигналов носит название разложения в ряд Фурье. Искаженный сигнал тока, можно представить как сигнал основной частоты плюс процент от его гармонических составляющих. Для сигналов симметричной формы, т.е. у которых положительный и отрицательный полупериоды имеют одинаковую форму и амплитуду, все гармоники с четными номерами равны нулю. В современных сетях четные гармоники практически не встречаются.

Эквивалентную цепь нелинейной нагрузки с установкой коррекции коэффициента мощности можно смоделировать как линейную нагрузку, параллельно которой включено множество источников тока, по одному источнику на каждую гармоническую частоту. Гармонические токи возникают в результате преобразования нагрузкой части энергии основной частоты в гармонические токи, которые протекают по цепи через импеданс источника и по всем остальным параллельным цепям. В результате гармонические напряжения появляются на импедансе источника и присутствуют во всей сети электропитания объекта.



Рисунок 1- Эквивалентная цепь нелинейной нагрузки с ККМ

Основным условием нормального функционирования и безаварийной работы электронного оборудования является качественное напряжение на шинах низкого напряжения (НН) трансформаторов, в главных распределительных щитах (ГРЩ) и в поэтажных электрощитах. Наличие гармоник в электрических сетях отрицательно сказывается как на самих сетях (увеличение тока в нулевом проводе, дополнительные потери и нагрев проводов и кабелей, ускоренное старение их изоляции), так и почти на всех видах электрооборудования, за исключением простейших нагревательных приборов. Возникают вредные наводки в телекоммуникационных и управляющих сетях; появляется повышенный акустический шум в электромагнитном оборудовании, ускоренными темпами пересыхает изоляция электрических машин, перегреваются трансформаторы и конденсаторы. При этом качество питающего напряжения у конечного потребителя, например в поэтажном электрощите, питающем компьютерные нагрузки, обычно хуже, чем качество напряжения в главном распределительном электрощите здания, из-за падения напряжения в кабельной линии, питающей этот электрощит. Одним из малоизученных явлений, влияющих на качество питающего напряжения, в том числе и у конечных электропотребителей, является резонанс токов (параллельный резонанс) в электроустановках зданий. Это опасное явление возникает при наличии нелинейных электропотребителей (прежде всего «компьютерных» и аналогичных им нагрузок) и одновременном использовании установок коррекции коэффициента мощности (ККМ), подключенных к шинам низкого напряжения трансформатора. Обмотка трансформатора и установка компенсации реактивной мощности представляют собой колебательный контур, т. к. в этой схеме имеется цепь с двумя параллельными ветвями – с сопротивлением и индуктивностью (параметры обмоток трансформатора), а другая – с емкостью установки компенсации реактивной мощности.

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (1)$$

Из этого условия следует, что резонанс может возникнуть при изменении параметров цепи – индуктивности или емкости. Угловая частота, при которой наступает резонанс, называется резонансной угловой частотой

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Таким образом, индуктивность обмоток трансформатора, а также количество включенных конденсаторов ККМ и определяют резонансную частоту рассматриваемой цепи.

Для расчета условий возникновения резонансных явлений на участке цепи «Трансформатор – ККМ» необходимо знать емкость конденсаторов, т.е. число включенных в работу ступеней установки компенсации реактивной мощности, а также параметры силового трансформатора, в частности его номинальную мощность $S_{тр}$ напряжение короткого замыкания u_k .

Зная эти исходные данные, можно определить номер гармоники промышленной частоты, на которой возникает резонанс:

$$n = \sqrt{\frac{S_{mp}}{u_k \cdot Q_{ККМ}}} \quad (3)$$

При резонансе наблюдается резкое ухудшение качества питающего напряжения на шинах низкого напряжения трансформатора. и на всех

отходящих с этой секции шин фидерах и даже небольшое увеличение несинусоидальности в таких сетях может вызывать значительные токи гармоник, протекающих через установку компенсации реактивной мощности. Поэтому, проведя гармонический анализ и анализ параметров питающей сети, нужно выяснить, насколько необходима постоянная работа таких установок при наличии нелинейных нагрузок, поскольку при любом сочетании L и C найдется частота, близкая к частоте нечетной гармонической составляющей тока.

Наиболее распространены способы уменьшения уровня высших гармоник путем применения:

- линейных дросселей,
- пассивных фильтров,
- активных кондиционеров гармоник.

Пассивный фильтр предназначен скорее для отсекаания гармонических токов, чем для их управляемого отвода. Поэтому на таких фильтрах возникает значительное падение напряжения на частоте гармонического тока. Пассивные настроенные фильтры могут вызвать резонансные явления в системе так же как и установки ККМ поскольку они настроены только на частоту определенной гармоники. В коммунально-бытовых и компьютерных сетях состав гармоник менее предсказуем. Состав оборудования и точки его подключения постоянно меняются, поэтому содержание гармоник в сети также постоянно меняется. Решением в таких случаях является установка активного фильтра. Принцип действия активного кондиционера гармоник основан на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерировании в распределительную сеть таких же гармоник тока, но с противоположной фазой. Как результат этого, высшие гармонические составляющие тока нейтрализуются в точке подключения АКГ. Это означает, что они не распространяются от нелинейной нагрузки в сеть и не искажают напряжения первичного источника энергии.

Ток нелинейной нагрузки содержит основную i_1 и высшие i_n гармоники:

$$i_{ni} = i_1 + \sum_{n \geq 2} i_n \quad (4)$$

Ток АКГ содержит противофазные току нагрузки высшие гармоники:

$$i_{ahc} = -\sum_{n \geq 2} i_n \quad (5)$$

В результате ток, потребляемый от источника, практически синусоидален, так как содержит только основную (первую) гармонику:

$$i_{pez} = i_{ni} + i_{ahc} = i_1 \quad (6)$$

На практике амплитуда гармонического тока уменьшается на 90%. Соответственно уменьшается импеданс источника на частоте гармоники и уменьшается искажение напряжения.

Линии электроснабжения зданий особенно офисного типа имеют многоуровневую структуру. Поэтому подключение АКГ целесообразно производить каскадным или многоуровневым способом. Каскадный способ включения АКГ позволяет избежать взаимовлияния различных кондиционеров в системе. Первый кондиционер (АКГ1) обеспечивает защиту от гармоник мощной нелинейной нагрузки, а второй кондиционер малой мощности (АКГ2) осуществляет компенсацию гармоник от других маломощных нелинейных нагрузок. Каскадное включение увеличивает степень компенсации гармоник тока при изменении нагрузки при использовании АКГ с меньшими номинальными значениями тока компенсации. Многоуровневый способ предусматривает подключение АКГ на нескольких уровнях распределительной

сети, что может быть сведено к каскадному способу включения АКГ. Подключение АКГ при этом желательно по возможности производить непосредственно к шинам источника питания, т.к. каждый последующий уровень компенсации находится на импедансе предыдущего уровня и источника питания.

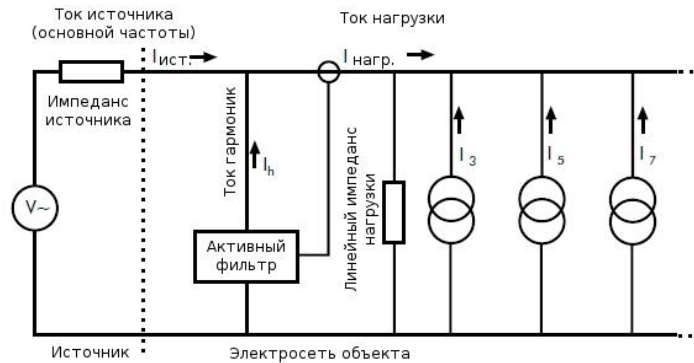


Рисунок 1- Эквивалентная цепь нелинейной нагрузки с АКГ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий – М. : Энергоатомиздат, 1994.- 256с.
2. Суднова В.В. Качество электрической энергии. – М.: Энергосервис, 2000.- 234с.
3. Компьютер и система электроснабжения в офисе: современные аспекты безопасной эксплуатации. / Под. ред. О.А. Григорьева. – М., изд-во РУДН, 2002.- 315с.