

Power Quality Application Guide

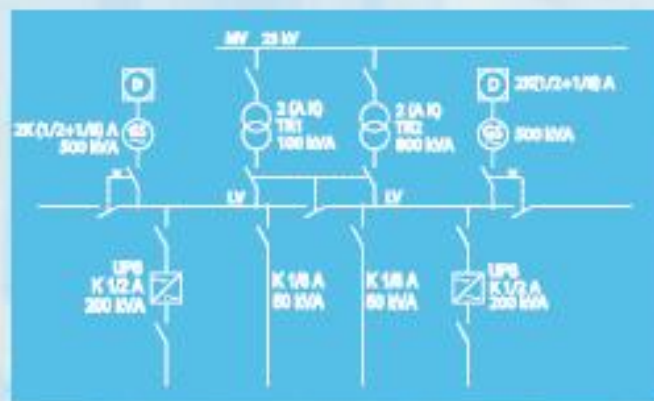


Resilience

Устойчивость к внешним возмущениям Resilient Power Supply in a Modern Office Building

4.5.1

Электроснабжение современного
офисного здания, устойчивое
к внешним возмущениям



Устойчивость к внешним возмущениям

Устойчивость к внешним возмущениям

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

Ханс де Кюленэр, Европейский институт меди

Проф. Анджело Банини, Университет Бергамо.

Июнь 2003 г.

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

Введение

В данном разделе рассматривается подход к проектированию устойчивых к внешним возмущениям и надежных систем электропитания современных офисных зданий, насыщенных электронным оборудованием. Статья представляет собой разбор конкретного случая на примере 10-этажного офисного здания в Милане, Италия (для соблюдения конфиденциальности в дальнейшем этот объект упоминается как «здание»). Здание является главным офисом крупной финансовой организации, в нем находятся рабочие места 500 сотрудников, которые интенсивно используют оборудование из сферы информационных технологий.

После оценки текущего состояния электросети здания, сопровождаемого результатами измерения параметров, определяющих качество электроэнергии, предлагаются два технических проекта, обеспечивающих устойчивое к внешним возмущениям и надежное электропитание. Статья завершается экономическим анализом затрат.

Описание исходной ситуации

Схема распределения

Здание подключено к сети напряжением 23 кВ. Главная питающая станция среднего напряжения состоит из двух трансформаторов мощностью 800 кВА, 23/0,4 кВ, 50 Гц. Низковольтная сторона сети конструктивно решена как система TN-S (т.е., нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных проводников, а нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем протяжении системы).

Нагрузка разделена на обычных, преимущественных и привилегированных потребителей в соответствии с требованиями по непрерывности электропитания (это более подробно обсуждается в разделе ниже). Имеется вторая точка общего подключения для питания небольшой части обычной нагрузки. Две общие точки подключения питаются от одной точки сети и поэтому не являются независимыми.

Для обеспечения непрерывности электропитания, как показано на схеме на рис. 1, установлены два ИБП (80 + 200 кВА) и двигатель-генератор (250 кВА). Необходимо заметить, что в подобной схеме обязательным является соединение нейтрального проводника с землей только в одной точке, в месте расположения главной клеммы заземления, но не на каждом трансформаторе. Иначе все преимущества выполнения электропроводки по схеме TN-S – улучшенная электромагнитная совместимость и качество энергии – будут потеряны.

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

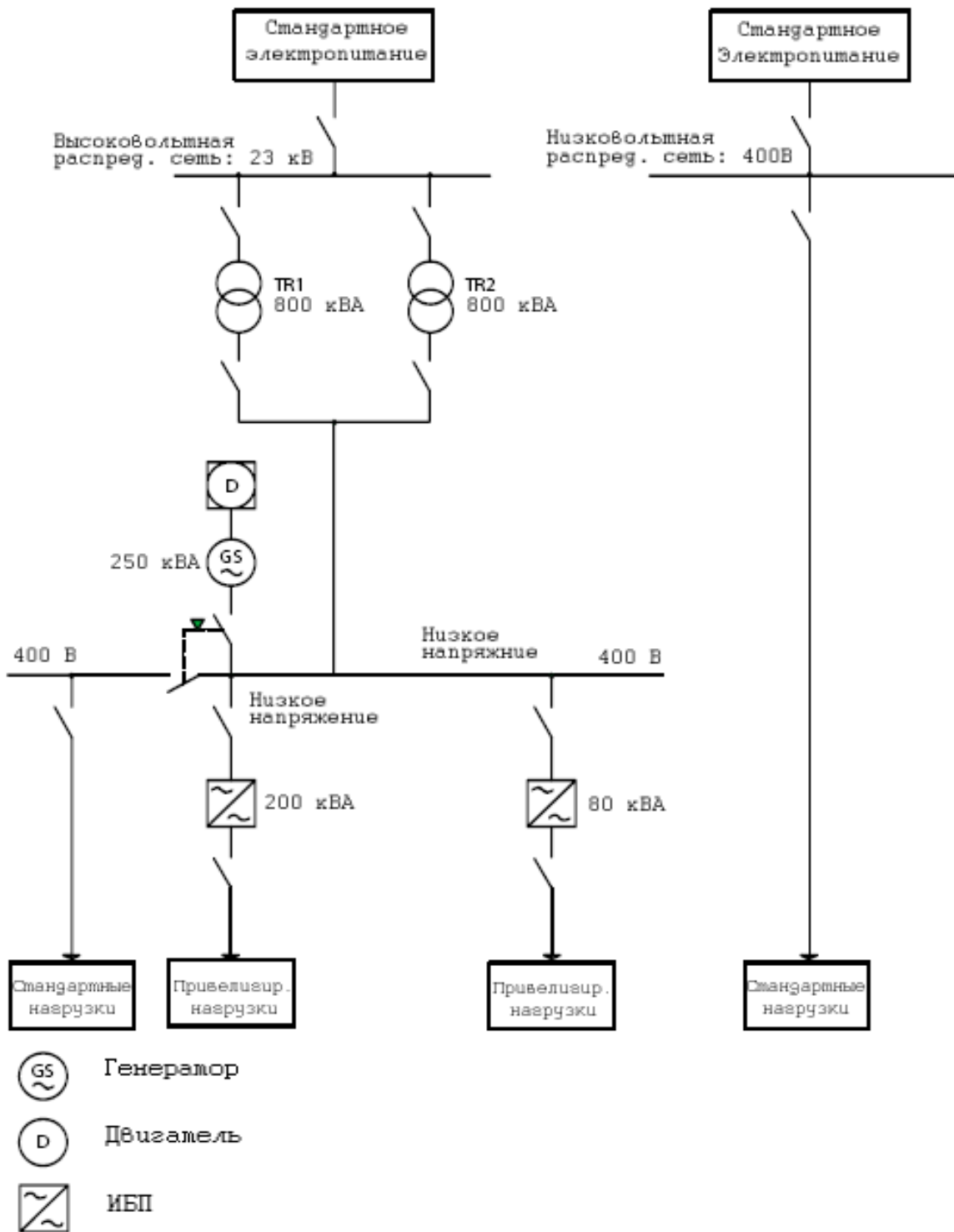


Рис. 1. Существующая схема распределения электроэнергии

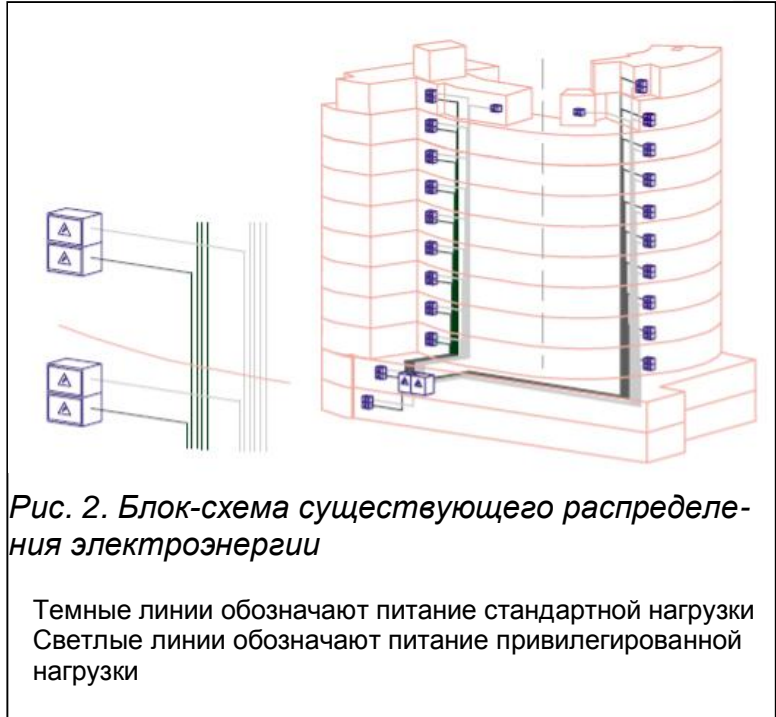
Главное распределение является компромиссом между радиальными и параллельными соединениями¹. Сеть растет бессистемным образом, без соблюдения унифициро-

¹ Параллельная схема: восходящая шина или силовая линия является общей для всех этажей; на каждом этаже имеется соединение с распределительным щитом низкого напряжения этажа. Радиальная схема: распределительный щит низкого напряжения на каждом этаже имеет выделенное соединение с соответствующим коммутационным щитом главного распределительного щита низкого напряжения цокольного этажа.

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

ванной структуры. Это является непосредственным результатом многих изменений в потребностях в электропитании, происходящих за срок службы здания.

По две линии питания распределительных щитов на каждом этаже. Каждый щит имеет две секции (стандартная и привилегированная), соответствующие стандартной и привилегированной секциям главного силового щита низкого напряжения (рис. 2). На конечном распределительном участке используется радиальная схема.



Электропроводные линии

Распределение трехфазного электропитания осуществляется с помощью многожильных медных кабелей. Там, где сечение фазового провода превышает 35 мм^2 , используется нейтральный провод в два раза меньшего сечения.

Нагрузка

Паспортная нагрузка для офисного здания является типовой и включает следующих потребителей:

- ◆ лифты (около 80 кВА);
- ◆ службы (около 100 кВА);
- ◆ системы кондиционирования воздуха (около 600 кВА);
- ◆ горизонтальные распределительные сети освещения и электропитания для открытого офисного пространства (около 35 кВА на этаж).

Качество энергии

Для оценки качества электроэнергии были измерены токи гармоник в главных электрических линиях, питающих каждый этаж, и на распределительных щитах для служб здания.

На рисунках 3 – 6 показаны примеры форм сигналов тока и напряжения и их гармонических составляющих. Необходимо обратить внимание на следующие данные:

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

В некоторых фазовых проводах, особенно в сетях освещения, коэффициент нелинейных искажений тока, вызванных гармоническими составляющими (3-й, 5-й и 7-й гармониками), превышает 75% - см. рис. 6. Наблюдаются значительные искажения, вызванные составляющими 3-й гармоники, в сетях, обслуживающих оборудование информационных технологий и осветительное оборудование – рис. 4, 5 (нейтральный провод) и 6. В некоторых нейтральных проводах ток гармонических составляющих более чем в два раза превышает фазный ток.

Оба ИБП имеют искажения формы тока, как в фазных, так и в нейтральных проводах – рис. 4 и 5.

Более чем в одном измерении появляются гармоники четного порядка (около 30% на рис. 5). Это означает, что форма тока не имеет обычную симметрию.

В некоторых случаях форма сигнала имеет более двух пересечений нулевой линии за один период синусоидальной волны (рис. 5).

В проводе заземления обнаружены довольно высокие постоянные токи. Это типичное свидетельство того, что не соблюдается схема TN-S., т.е., имеется несколько точек соединения нейтрального провода с проводом заземления. Обязательно должно гарантироваться наличие только одной главной точки заземляющего соединения между нейтральным проводом и землей. Обслуживающий здание электротехнический персонал должен быть проинструктирован о недопущении каких-либо других соединений нейтрального провода с заземлением в распределительных сетях низкого напряжения.

Упомянутые выше измерения производились с использованием однофазного анализатора качества электроэнергии «Fluke 43» 0 - 600В, СТ 600А/1мВ/А.

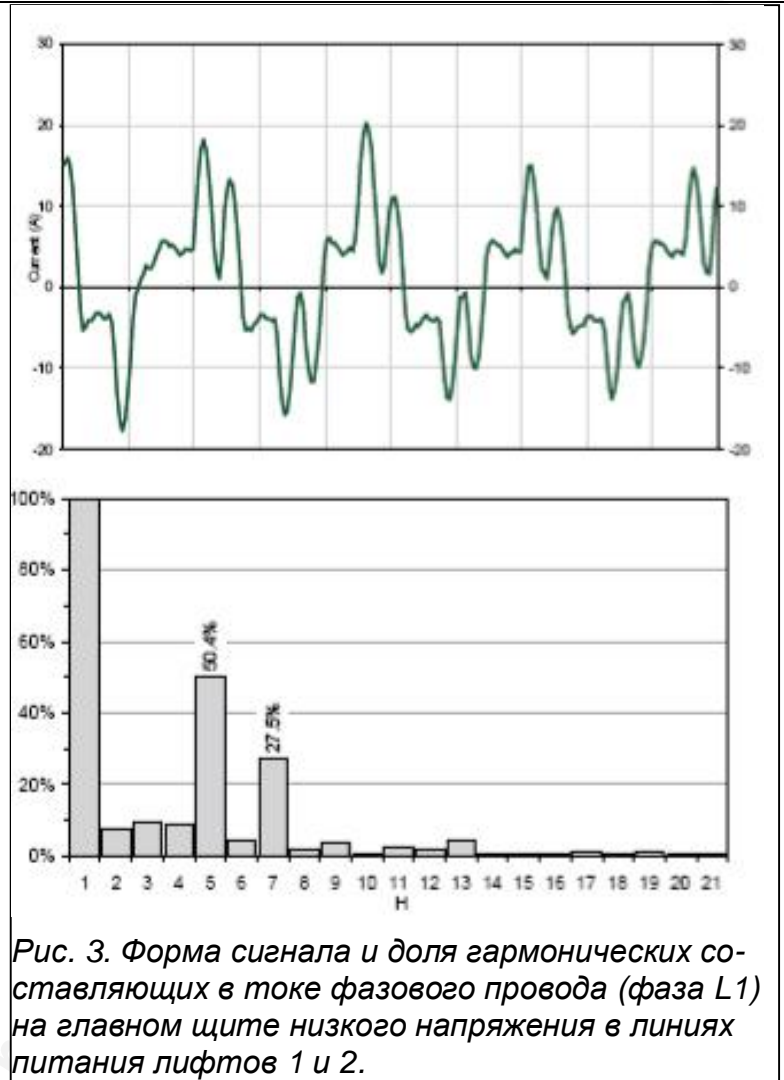


Рис. 3. Форма сигнала и доля гармонических составляющих в токе фазового провода (фаза L1) на главном щите низкого напряжения в линиях питания лифтов 1 и 2.

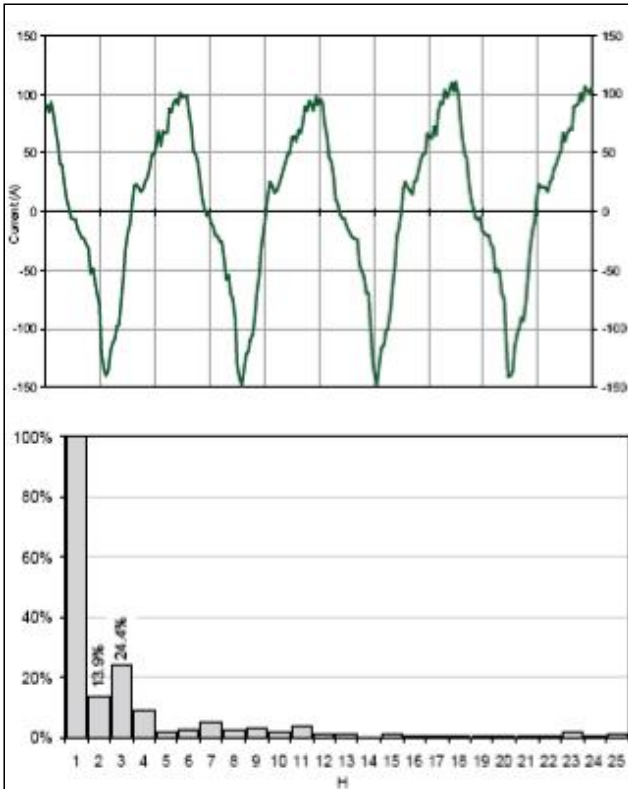


Рис. 4 Форма сигнала и доля гармонических составляющих в токе фазового провода (фаза L1) силовой линии (80 кВА) к источнику бесперебойного питания – ИБП

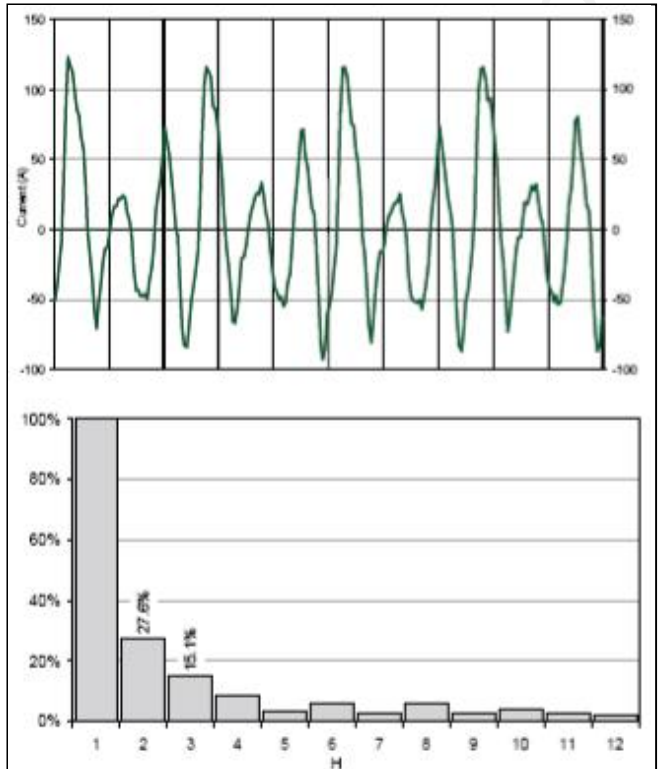


Рис. 5. Форма сигнала и доля гармонических составляющих в токе нейтрального провода силовой линии (80 кВА) к ИБП (открытое офисное пространство).

События

Потребители в здании испытывали неоднократные нарушения и перерывы в работе, связанные главным образом с перегревом линий электропитания и мешающим срабатыванием предохранительных устройств, количество которых постоянно росло.

Анализ исходной ситуации

Построение существующей сети электропитания имеет организационные недостатки и не рационально. Она не совместима с требованиями обеспечения устойчивости к внешним возмущениям, которые изначально предъявлялись к системе (снабжение электроэнергией низкого напряжения через многочисленные трансформаторы, ИБП и генератор.).

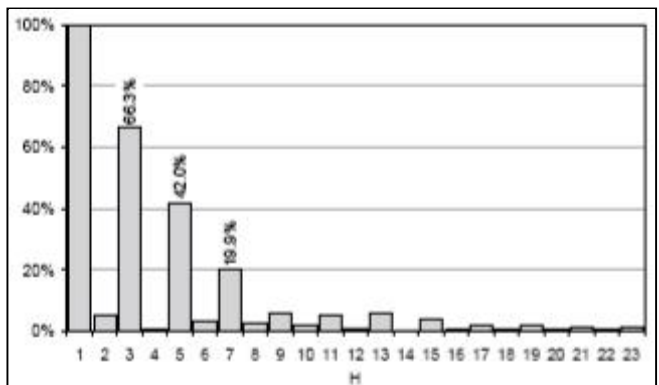


Рис. 6. Форма сигнала и доля гармонических составляющих в токе фазового провода (фаза L2) на главном щите низкого напряжения в линии питания распределительной панели первого этажа (преимущественно цепи освещения).

Некоторые компоненты системы не отвечают современным стандартам. Даже полное соответствие стандартам не гарантирует необходимых характеристик с точки зрения качества энергии и электромагнитной совместимости, которые должны обеспечиваться

в зданиях с функциями, имеющими решающее значение для выполнения определенных задач.

Схема распределения

Схема распределения не является ни систематизированной, ни рациональной, что, возможно, стало последствием многочисленных изменений, предпринятых после начального монтажа. Существуют важные ограничения, касающиеся резервной мощности и независимости. Имеет место несколько узких мест, например, на уровне шины низкого напряжения (см. рис. 1). Два трансформатора не являются независимыми.

Перегрев линий

Большая плотность офисного информационного оборудования, такого как ПК, серверы и т.п. и электронных компонентов системы освещения приводит к образованию сильных токов гармонических составляющих во многих линиях электропитания.

Эти явления приводят к перегреву нейтрального провода (повышенные токи в нейтральном проводе уменьшенного сечения – см. раздел 3.1 и 3.5.1), а также к мешающему срабатыванию предохранительных устройств.

Согласованность предохранительных устройств и линий

Допустимая нагрузка по току некоторых линий не согласована с установленными в этих линиях устройствами защиты от сверхтоков. Прокладка большого количества линий в одном кабельном канале делают эту проблему еще более важной, так как в этом случае повышается рабочая температура.

Анализ отказа в линии показал, что его причиной стал длительный перегрев в кабельном канале. Необходимо соблюдать поправочные коэффициенты группировки, указанные в справочных приложениях национальных и международных правил монтажа электропроводки

Состояние нейтрального провода

В случае такого многостороннего питания со схемой проводки TN-S токи в нейтральном проводе необходимо вернуть непосредственно на главную клемму заземления. Должны соблюдаться требования по недопущению создания дополнительных точек соединения между нейтральным проводом и заземлением. Такие соединения создают дополнительные пути для тока в нейтральном проводе, ликвидируя все преимущества схемы TN-S.

Основной подход в проектировании

Работающий в здании персонал, занятый в финансовом секторе, нуждается в обновлении системы электроснабжения, так как надежность и качество электропитания имеют особую важность для решения стоящих перед этим персоналом задач. Недостатки, выявленные в результате анализа текущей ситуации, и измерения показателей качества энергии диктуют необходимость модернизации системы электросети на следующих уровнях:

- ◆ рационализация распределения силового питания;
- ◆ модернизация схемы электрической проводки на этажах.

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

Классификация нагрузки

Первым шагом в оптимизации рационализации распределения силового питания является классификация нагрузки. Все нагрузки объединяются в три группы:

- ◆ стандартные;
- ◆ преимущественные;
- ◆ привилегированные.

Стандартные нагрузки используются в повседневной деловой деятельности, но их неготовность не влечет за собой опасность нарушения здоровья персонала, повреждения оборудования или приостановки рабочего процесса. Простая радиальная схема сети достаточна для такого электроснабжения и допускает длительные вмешательства (таблица 1).

Преимущественные нагрузки нуждаются в резервированном электропитании, какое обеспечивает, например, двойная радиальная схема, берущая свое начало либо от линии электросети, проходящей с одного этажа здания на другой, либо на уровне промежуточных соединений (таблица 2).

Описание стандартной нагрузки	Тип необходимого электропитания	Необходимая для вмешательства синхронизация
<p>Обеспечивает обычное функционирование здания, но ее отсутствие не влечет за собой опасность для персонала и оборудования:</p> <p>службы общего назначения, например, кондиционирование воздуха (кроме серверных помещений);</p> <p>обычное освещение;</p> <p>обогрев;</p> <p>штепсельные розетки электропитания.</p>	<p>Сети со стандартной радиальной схемой</p> <p>Возобновление работы может быть без ущерба задержано не некоторое время.</p> <p>Нагрузки могут быть выключены</p>	<p>Отсутствует</p> <p>Допускается отсутствие службы в течение относительно длительного промежутка времени.</p>

Таблица 1. Описание, критерий, конструктивная схема стандартных нагрузок и требования к вмешательству в их цепи.

Описание преимущественной нагрузки	Тип необходимого электропитания	Необходимая для вмешательства синхронизация
<p>Для комфорта и безопасности персонала и клиентов, а также для обеспечения непрерывности процесса бизнеса необходимо регулярное функционирование нагрузки. Например:</p> <p>освещение лестничных маршей, коридоров и некоторых комнат;</p> <p>минимальное дежурное освещение, позволяющее избежать паники;</p> <p>обогрев или кондиционирование воздуха в некоторых поме-</p>	<p>Резервирование.</p> <p>Двойная радиальная схема основной цепи электропитания, гарантирующая работу и физическую независимость межэтажных линий электропередачи.</p> <p>Может быть задействованы две независимые межэтажные линии электропередачи, питаемые либо от генератора, либо от двух независимых точек сети.</p>	<p>В соответствии с требованиями в случае продолжительных перерывов питания для генераторной группы допускается время вмешательства длительностью 20 секунд. Обычными значениями для дизельной группы являются:</p> <p>первая попытка в течение 5 секунд;</p> <p>вторая попытка в течение 10 секунд;</p>

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

щениях; лифты; ИБП.	Отключение нагрузки неприемлемо.	третья попытка в течение 15 секунд.
---------------------------	----------------------------------	-------------------------------------

Таблица 2. Описание, критерий, конструктивная схема преимущественных нагрузок и требования к вмешательству в их цепи.

Описание привилегированной нагрузки	Тип необходимого электропитания	Необходимая для вмешательства синхронизация
<p>Важные службы:</p> <p>освещение, обеспечивающее безопасность;</p> <p>серверы;</p> <p>системы связи;</p> <p>поиск персонала;</p> <p>охранные системы и системы оповещения;</p> <p>пожарная сигнализация и системы пожаротушения;</p> <p>замкнутые телевизионные сети;</p> <p>некоторые вспомогательные службы.</p>	<p>Защищенные</p> <p>Двойная радиальная схема с независимыми межэтажными линиями электропередачи.</p> <p>По крайней мере, одна межэтажная линия электропередачи должна гарантировать высокую надежность сети.</p> <p>Использование ИБП.</p> <p>Для некоторых цепей необходимо предусмотреть выделенный ИБП.</p>	<p>Нагрузки с длительностью вмешательства не более 15 секунд.</p> <p>Нагрузки с кратковременным прерыванием электропитания, не превышающим 0,15 секунд.</p> <p>Некоторые нагрузки требуют непрерывного питания.</p>

Таблица 3. Описание, критерий, конструктивная схема привилегированных нагрузок и требования к вмешательству в их цепи.

Привилегированные нагрузки имеют исключительную важность для решения задач. Отказ служб означает серьезную опасность для персонала или нарушения бизнес-процесса с тяжелыми последствиями. Для каждой нагрузки необходимо определить уровень независимости. В самом крайнем случае эти нагрузки должны получать электроэнергию от двух независимых линий питания с автоматическим переключением (таблица 3).

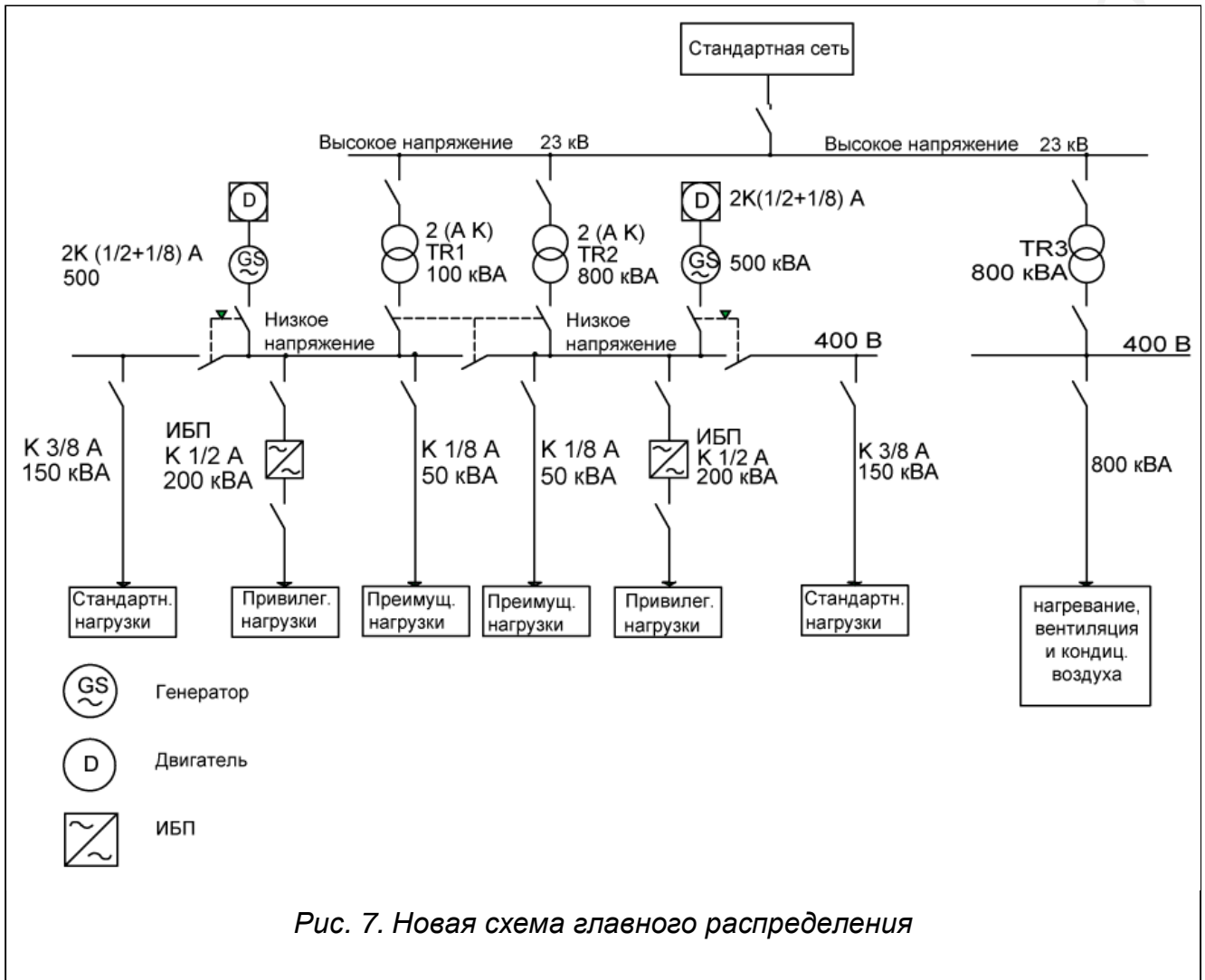
Тип нагрузки	Процентная доля
Стандартная	49%
Преимущественная	13%
Привилегированная	38%

Таблица 4. Классификация типов нагрузок.

Главная схема распределения

Для устранения существующих узких мест в главной шине низкого напряжения, главное распределение должно быть преобразовано по схеме двойного радиального распределения (рисунок 7, левая часть).

Электроснабжение современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям



Номинал трансформаторов TR1 и TR2 должен быть таким, чтобы каждый из них мог выдерживать всю нагрузку. Также при выборе размеров трансформаторов необходимо учитывать, что в результате влияния природы нагрузки форма сигнала тока нагрузки может быть сильно искажена, и через трансформаторы будут протекать токи гармонических составляющих. Паспортные данные трансформаторов с учетом токов гармонических составляющих рассматриваются в разделе 3.5.2.

Для уменьшения токов короткого замыкания система обычно обслуживается с разомкнутым главным автоматическим выключателем шины, но на короткое время допускается параллельная работа двух главных трансформаторов.

Для питания служб обогрева и нагревания, вентиляции и кондиционирования воздуха секция трансформаторов должна быть изменена так, как показано на рис. 7 с добавлением дополнительно к двум имеющимся нового трансформатора TR3 на 800 кВА.

Стандартные нагрузки запитываются от одной точки сети. Те же сетевой силовой кабель, межэтажная линия электропередачи и сеть радиального распределения питают преимущественные и привилегированные нагрузки.

Преимущественные и привилегированные нагрузки питаются от двух генераторных групп. При возникновении экстремальных ситуаций в главной шине, стандартные нагрузки с помощью автоматических выключателей отключаются от нее.

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

В случае отказа сетей обычного и резервного питания, работа привилегированных нагрузок осуществляется от ИБП.

Проводка основной и резервной сетей выполнена по схеме TN-S. Проводка ИБП выполняется либо по схеме TN-S, либо по схеме IT (в данном случае это подразумевает изолированную землю). Система с изолированной землей является отличным решением для обеспечения непрерывности электропитания, но не гарантирует безопасность персонала. Там, где проводка выполнена по схеме IT, необходимо принимать соответствующие меры защиты, разрешающие допуск к электрическим цепям только уполномоченного персонала.

Из представленной на рис. 7 схемы исключена вторая точка общего подключения низкого напряжения.

Каждый этаж, как и прежде, подключается через два распределительных щита, каждый из которых имеет три секции (питание стандартной, предпочтительной и привилегированной нагрузок), которые соответствуют таким же секциям главного силового щита низкого напряжения.

На конечном распределительном участке используется параллельная (рис. 8) или одинарная радиальная (рис. 9) схема.

Параллельная схема (общая линия питает все этажи и все типы нагрузок) дешевле и более гибкая с точки зрения наращивания нагрузки. Но, к сожалению, она обладает слабой устойчивостью к внешним возмущениям в случае нарушений в главной линии и в межэтажных линиях электропередачи.

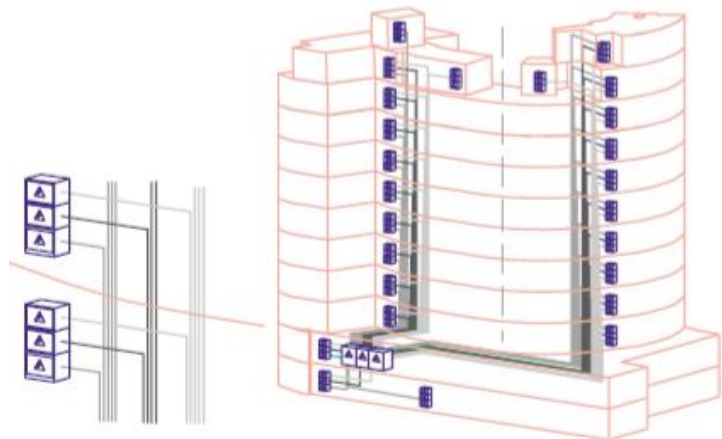


Рис. 8. Система с радиальной схемой проводки (10 этажей с тремя типами нагрузки = 30 выделенных межэтажных линий электропередачи)

Темные линии обозначают питание стандартной нагрузки
Серые линии обозначают питание предпочтительной нагрузки
Светлые линии обозначают питание привилегированной нагрузки

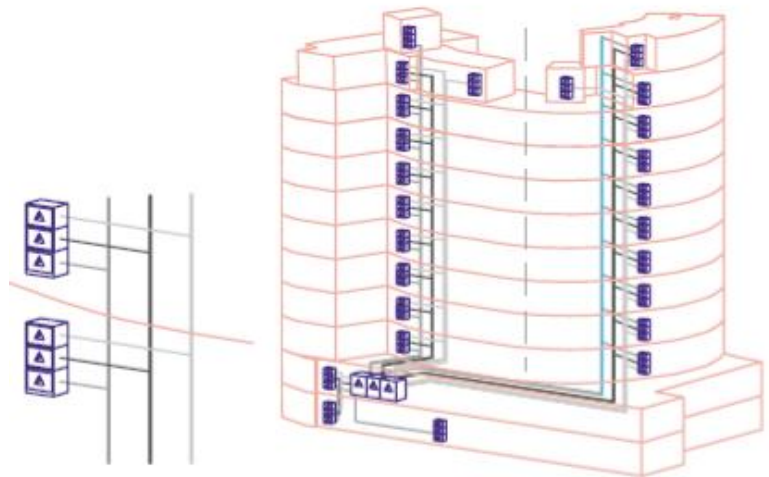


Рис. 9. Система с отдельными межэтажными линиями электропередачи (три типа нагрузки = 3 выделенные межэтажные линии электропередачи/шины, совместно используемые на всех этажах)

Темные линии обозначают питание стандартной нагрузки
Серые линии обозначают питание предпочтительной нагрузки
Светлые линии обозначают питание привилегированной нагрузки

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

Одинарная радиальная схема (отдельная линия для каждого этажа и для каждого типа нагрузки) обладает следующими преимуществами:

- ◆ минимальные помехи и падение напряжения, вызванные нагрузкой;
- ◆ в случае отказа сети отключается только нагрузка, подключенная к неисправной линии;
- ◆ более низкие трудозатраты на обслуживание
- ◆ Исходя из вышесказанного, радиальная схема является предпочтительной.

Выбор мощности проводов

В таблице 5 представлены значения расчетной мощности проводов в соответствии с мощностью нагрузки для всех основных секций системы.

Суммарная установленная нагрузка (столбцы 2 и 3) умножается на коэффициенты использования и одновременного включения (столбцы 4 и 5), чтобы получить потребности нагрузки в мощности (столбцы 6 и 7). Так как мощность нагрузки в перспективе будет расти, то расчетная мощность проводов (столбцы 8 и 9) определяется с учетом дополнительных коэффициентов увеличения, равных 130% и 115% для цепей электропитания и освещения соответственно.

Нагрузка	Установленная нагрузка (кВА)		Коэффициенты использования и одновременного включения		Потребности мощности (кВА)		Установленная мощность (кВА)	
	Электропитание	Освещение	Электропитание	Освещение	Электропитание	Освещение	Электропитание	Освещение
	1	2	3	4	5	6	7	8
Второй подземный этаж	7	10	0.7	1	5	10	6.5	11.5
Первый подземный этаж	114	15	0.7	1	80	15	104	17.25
Первый этаж и основные службы	43	15	0.7	1	30	15	39	17.25
Второй этаж	50	17	0.7	1	35	17	45.5	19.55
Третий этаж	50	17	0.7	1	35	17	45.5	19.55
Четвертый этаж	50	17	0.7	1	35	17	45.5	19.55
Пятый этаж	50	17	0.7	1	35	17	45.5	19.55
Шестой этаж	50	17	0.7	1	35	17	45.5	19.55
Седьмой этаж	50	17	0.7	1	35	17	45.5	19.55
Восьмой этаж	50	17	0.7	1	35	17	45.5	19.55
Девятый этаж	29	12	0.7	1	20	12	26	13.8
Десятый этаж	3	2	0.7	1	2	2	2.6	2.3
Диспетчерская отопления	29	0	0.7	--	20	0	26	0
Главная станция нагревания, вентиляции	843	0	0.7	--	590	0	767	0

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

ляции и кондиционирования воздуха								
Боксы	14	5	0.7	1	10	5	13	5.75
Лифты	114	0	0.7	1	80	0	104	0
ИТОГО	1546	178	--	--	1082	178	1407	204.7

Таблица 5. Пиковая и фактическая мощность главной распределительной системы.

Принимая во внимание измеренные искажения формы сигнала тока, при определении расчетной мощности всех новых линий необходимо учитывать требования, обусловленные токами гармонических составляющих и обеспечением устойчивости к внешним возмущениям:

- ◆ сечение нейтрального провода должно равняться сечению фазных проводов (раздел 3.5.1);
- ◆ снижение номинальных рабочих характеристик кабелей (раздел 3.1 и 3.5.1)

Особое внимание нужно уделять выбору сечения нейтрального и фазных проводов, чтобы исключить перегрев и ошибочное срабатывание предохранительных устройств. Применение ИБП или двигателей-генераторов не даст необходимого эффекта, если отказ линии электропитания произойдет после них.

Оценка затрат

В таблице 6 представлено сравнение стоимости существующей системы электропитания и двух альтернативных вариантов модернизированной системы. Альтернативные варианты отличаются только межэтажными линиями электропередачи и, следовательно, стоимостью главного распределительного щита низкого напряжения.

Вариант 1 соответствует параллельной схеме проводки, вариант 2 – одинарной радиальной схеме, которая для новых зданий является предпочтительной, но труднореализуемой в ходе модернизации имеющейся системы.

Затраты при выборе схемы на начальном этапе проектирования

При оценке затрат необходимо учесть следующее:

- ◆ проценты относительно стоимости существующей системы;
- ◆ дополнительные расходы на лучшее решение будут низкими, если обоснование сделано на начальном этапе проектирования;
- ◆ стоимость лучшего технического решения (т.е., варианта 2 – одинарной радиальной схемы на конечном участке распределения) только на 3% отличается от варианта 1, если решение принимается на начальном этапе проектирования, но различие в стоимости будет намного больше, если изменение системы осуществляется в ходе модернизации;
- ◆ оценка расходов сделана на основе цен 2001 года;
- ◆ стоимость ИБП учитывает только приобретение и монтаж; необходимо также учитывать стоимость технического обслуживания.

Даже если оценка средних затрат на проектирование системы с целью улучшения качества электроэнергии представляет большую сложность, то необходимо учесть следующее:

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

- ♦ оценка затрат включает затраты, связанные с практическими сложностями строительства и ремонта здания в центре крупного города;
- ♦ изменение главной схемы распределения является более важным и полезным мероприятием, которое следует предпринять;
- ♦ реализация варианта с отдельными межэтажными линиями электропередачи в условиях продолжающегося использования здания представляет большие сложности.

Позиция	Стоимость существующей системы (€)	Стоимость варианта 1 (€)	Стоимость варианта 2 (€)
Затраты на этапе проектирования			
Главный щит низкого напряжения	32 000	35 000	45 000
Межэтажные линии	30 000	35 000	60 000
Горизонтальное распределение	107 000	135 000	135 000
Генераторные группы	87 000	107 000	107 000
ИБП	55 000	105 000	105 000
Движущая сила	355 000	375 000	375 000
Освещение	500 000	525 000	525 000
Итого	1 166 000	1 317 000	1 352 000
Разница в цене		151 000 (+13%)	186 000 (+16%)
Затраты на модернизацию системы			
Дополнительные затраты		422 000 (+36%)	543 000 (+46%)

Таблица 6. Сравнение затрат

Вывод

Первичные низкие затраты не обязательно означают экономически оправданный выбор. Системы, отвечающие требованиям по качеству энергии, изначально более дорогие, могут в процессе эксплуатации и работы принести большую экономию средств. Представленный в данной статье разбор конкретного случая показал, что сеть электропитания, спроектированная без соблюдения требований, обеспечивающих высокое качество электроэнергии, нуждается в дорогостоящей, но необходимой модернизации. Нужно было принимать решение, либо устранять недостатки системы, либо смириться с вызываемыми ими неудобствами и отказами.

Анализ затрат и результатов показывает, что меры по обеспечению устойчивости к внешним возмущениям должны предприниматься на этапе проектирования. Незначительное увеличение (на 16%) затрат на монтаж системы электропитания (1% от стоимости здания) позволяет получить:

три линии защиты от отключения электропитания нагрузки, имеющей исключительную важность для решения задач (по два щита на каждом этаже, генераторы, ИБП);

Электропитание современного офисного здания, устойчивое к внешним возмущениям

систему с высокой устойчивостью к внешним возмущениям, в которой электропитание каждого этажа осуществляется двумя распределительными щитами; каждый щит одного этажа независим от другого и от щитов других этажей;

очень гибкую систему электропитания, рассчитанную на перспективное наращивание нагрузки.

Дорогостоящее на первый взгляд, устойчивое к внешним возмущениям решение увеличивает обычную стоимость здания только приблизительно на 1%. Для зданий коммерческого назначения, у которых эксплуатационные расходы через 7-8 лет сравниваются с первоначальными затратами на строительство, данные начальные капиталовложения вернутся увеличением производительности, составляющей 10 минут в неделю. Все остальное пойдет в прибыль.

Проектирование в соответствии с текущими стандартами не гарантирует оптимальных характеристик с точки зрения качества электроэнергии, поэтому необходимо учитывать рекомендации МЭК и использовать более технологичные решения. В настоящее время в масштабах Европы разрабатываются улучшенные стандарты.

Справочная литература

1. *P Chizzolini, P L Noferi: Ottimizzazione degli interventi sulla rete di distribuzione mirati al miglioramento della continuita' del servizio elettrico. LXXXVII Riunione AEI, Firenze 1986.*
2. *T M Gruz: 'A survey of neutral currents in three-phase computer power systems', IEEE Transaction on industry applications, vol. 26, n° 4 July/August 1990.*
3. *IEC 364-5-523 - Electrical installations of buildings - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems.*
4. *A Baggini, A Bossi, 'Componenti e carichi suscettibili ai disturbi', Corso 'Interazioni elettromagnetiche tra componenti e sistemi in ambito industriale: compatibilita elettromagnetica in bassa frequenza' Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano, 21-25 febbraio 1994.*
5. *A Silvestri, F Tommazzoli, 'Schemi per gli impianti di energia: semplicita, affidabilita, risparmio, ridondanza dove e come', Corso 'Il progetto degli impianti elettrici di energia. Le norme e la regola dell'arte', Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Universita degli Studi di Pavia, AEI, CNR, Pavia, 10-13 giugno 1991.*