

## Механизм возникновения помех общего вида

Сахнюк А.А., "ХОЛИТ Дэйта Системс", Киев



Этой статьей наш журнал открывает цикл публикаций, посвященных вопросам гальванической развязки и помехозащитности. Проведение операций измерения и контроля или сбор данных в производственных условиях существенно отличается от выполнения тех же процедур в лаборатории. Влияние многочисленных побочных факторов может привести или к искажению результатов и потере точности, или, что еще хуже, к поломке оборудования. Применение же гальванической развязки позволяет обеспечить проведение достоверных измерений и формирование управляющих воздействий, а также защитить дорогостоящее оборудование. Наша цель - познакомить широкий круг читателей с причинами возникновения помех и других влияющих факторов, дать рекомендации по эффективному использованию различных методов борьбы с ними, рассказать о современных технических средствах гальванической развязки и особенностях их применения.

Совершенствование технологических процессов повышает требования к точности, надежности и быстродействию систем автоматизации. Выполнение этих требований связано с преодолением целого ряда препятствий, среди которых особое место принадлежит помехам.

Проникая в измерительные цепи, помехи приводят к увеличению погрешности измерений, а в некоторых случаях и к полному искажению результатов измерений. В реальных условиях эксплуатации бывает трудно сразу определить, чем вызвано изменение регистрируемых значений - самой величиной или действием помехи. Следовательно, значительно возрастает опасность получения недостоверной информации, что может привести к сбоям в системе управления.

В этой статье рассматриваются помехи, связанные с электропитанием, и прежде всего - продольные помехи, представляющие собой разность потенциалов любого происхождения, действующую между точкой заземления источника сигнала и точкой заземления измерительного устройства. Такие помехи называют помехами общего вида. Спектр этих помех достаточно широк: от постоянного тока до частоты питающей сети и ее гармоник и даже импульсных напряжений, возникающих при переходных процессах в силовых электрических цепях.

Давайте проследим механизм возникновения помех общего вида, начиная с точки подачи низковольт-

ного напряжения питания (меньше 600 В) на сторону конечного потребителя.

### Топология разводки питания

Есть несколько основных топологий, используемых для малых и средних потребителей электрической энергии. Энергетические компании используют трансформаторы для согласования высоких напряжений линий электропередачи с низкими напряжениями линий у потребителей. Эти напряжения (со вторичной обмотки трансформатора) показаны на рисунках 1, 2, 3, и 4. Понижающие трансформаторы обычно располагаются внутри электрических подстанций или на бетонных подушках, расположенных возле предприятий потребителей. Обратите внимание, что при таких топологиях подключения трансформатора происходит соединение нейтральной линии энергоснабжения с землей в точке Gnd-0.

### Однофазный трансформатор

На рис. 1 показано типичное подключение вторичной обмотки трансформатора для популярного однофазного автотрансформатора на 240/120В. В этой топологии подключения вторичная обмотка создает напряжения 240В между линиями L1-L2 и два напряжения по 120В между нейтралью и линиями L1 и L2. Ответвление от средней точки подключается к нейтрали (линия возврата) и зазем-

ляется в этой точке. Токи в нейтрали не текут, когда нагрузки подключаются между линиями L1-L2. Если же подключаются 120-вольтовые нагрузки между линией L1 и нейтралью или между L2 и нейтралью, то ток нейтрали, текущий к точке Gnd-0, в любой момент времени представляет собой векторную сумму всех токов по

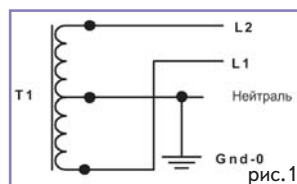


рис. 1

всем 120-вольтовым нагрузкам в линиях L1 и L2. Теоретически возможен случай, когда нагрузки по линиям L1 и L2 окажутся равны, и ток нейтрали будет равен нулю. Но практически всегда есть некоторый ток, текущий в понижающих трансформаторах по левому проводу к Gnd-0.

### Четырехпроводная трехфазная система, соединение обмоток звездой

Это устройство часто используется для получения однофазного напряжения переменного тока 220В, одновременно обеспечивая как однофазное напряжение 220В, так и трехфазное 380 В. На рис. 2 показаны низковольтные вторичные обмотки трехфазного трансформатора, соединенные звездой и используемые для подачи трехфазного напряжения между линиями L1, L2 и L3. Кроме того, это соединение обмоток трансформатора обеспечивает три однофазных напряжения 220В между L1 и нейтралью, L2

и нейтралью и L3 и нейтралью.

В таком устройстве симметричная трехфазная нагрузка, например, двигатель, сварочный аппарат, нагреватель и

т.п., не создает тока в нейтральном проводе. Однако все однофазные 220-вольтовые нагрузки между линиями L1, L2, L3 и нейтралью создают токи в нейтрали, текущие к Gnd-0. Ток в нейтрали может отсутствовать только при полной идентичности нагрузок на линиях L1, L2 и L3. На практике это условие трудно выполнимо.

### Трехпроводная трехфазная система на 220-110 В по схеме треугольника

Другая популярная топология электропитания показана на рис. 3. Вторичные обмотки силовых трансформаторов соединены "треугольником". Эта система нейтрали не имеет. Для удовлетворения потребностей в однофазном напряжении 110В, одна из вторичных 220В-обмоток (Т3) соединена своим центром с нейтралью и обеспечивает два отдельных напряжения 110В между линиями L1, L2 и нейтралью, заземленной в Gnd-0. На линии L1, L2 и L3 выдается электропитание 220В с 3 фазами. Однофазные 220В (без нейтрали) доступны между парами L1-L2, L2-L3 и L3-L1.

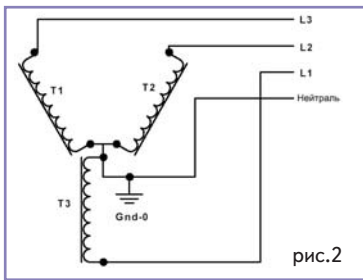


рис.2

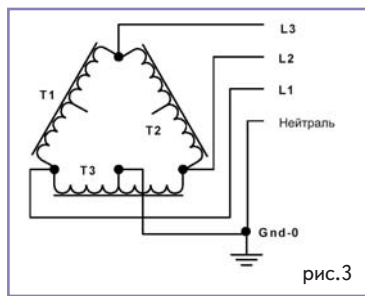


рис.3

Существует также **трехпроводная трехфазная система с "разомкнутым" треугольником** (рис.4). Она применяется для экономии, так как позволяет использовать две вторичные обмотки вместо трех. Работает такая система аналогично полной системе, приведенной на рис.3.

Рассмотренные выше топологии систем распределения питания обладают следующими свойствами:

- промышленное трехфазное оборудование создает сбалансированную нагрузку и не должно создавать никаких обратных токов в нейтрали к земле источника питания Gnd-0;
- в четырехпроводной трехфазной звезде все однофазные нагрузки

на линиях L1, L2 и L3 формируют сложную трехфазную нагрузку. Практически она никогда не сбалансирована и поэтому создает токи в нейтральной линии;

- В популярной 220-110В однофазной системе 110В-нагрузки

между линиями L1, L2 и нейтралью никогда не бывают полностью идентичными и создают ток в нейтрали. Но 220В-нагрузки между линиями L1 и L2 тока в нейтрали не создают;

• Обе системы питания по схеме треугольника имеют по два 110В-источника, соединенных с нейтралью. Следовательно, однофазные нагрузки на линиях L1 и L2 создают токи в нейтрали в направлении земли источника питания Gnd-0.

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

- трехфазные трехпроводные сбалансированные и несбалансированные нагрузки, включенные по схеме треугольника, не создают тока в нейтрали;
- трехфазные балансные нагрузки, включенные по схеме четырехпроводной звезды, не создают тока в нейтрали;
- трехфазные несбалансированные нагрузки, включенные по схеме четырехпроводной звезды, создают токи в нейтрали;

• однофазные нагрузки, включенные между фазными линиями, не создают токов в нейтрали;

• однофазные нагрузки, включенные между линиями и нейтралью, создают токи в нейтрали.

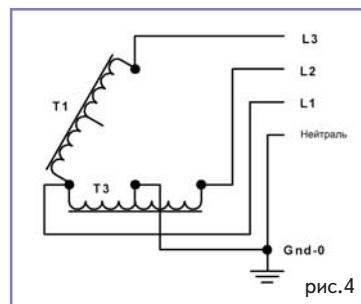


рис.4

### Распределительные панели

Внутри здания напряжения питания подаются к различным нагрузкам через главный распределительный щит. На рис.5 показана схема соединительной панели, из которой видно каким образом происходит раздача напряжений питания и как подключаются цепи заземления. Напряжения питания подводятся к различным нагрузкам через распределительные панели группами кабелей, которые заключены в различные синтетические оболочки. Провода имеют определенный цвет в зависимости от назначения. Провод нейтрали обычно имеет белый цвет, заземления - оттенки зеленого цвета или может быть медной жилой вообще без изоляции. Для фазных проводов может использоваться изоляция черного, красного, синего цветов. Главное, что по проводу заземления недопустимо передавать никакие токи на-

грузок. Каждая фаза питания должна быть защищена размыкающими предохранителями. Согласно нормам, линии нейтрали и заземления выполняются цельными проводами (без разрывов), а свободные концы проводов должны возвращаться в точку подключения на распределительной панели.

При подключении питания соблюдаются следующие принципы:

- во всех разводках линии нейтрали подключаются к точке **a**, которая соединяется с нейтралью трансформатора питания, Gnd-0;
- во всех разводках линии заземления подключаются к точке **b**, которая соединяется с контуром заземления здания Gnd-1 на распределительной панели;

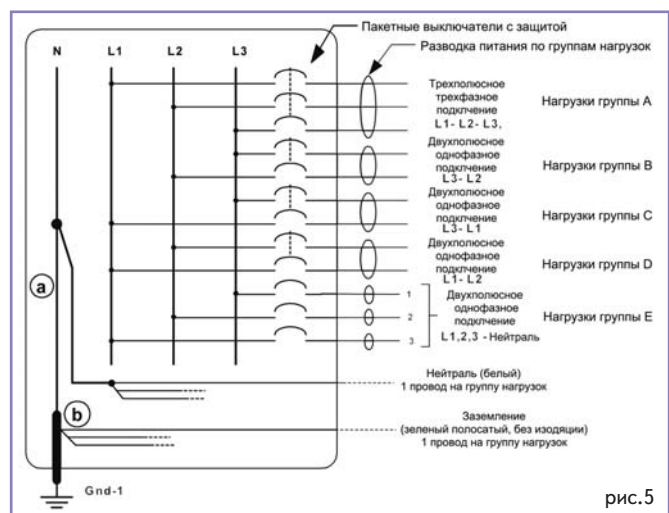


рис.5

• на распределительной панели точки **a** и **b** соединяются, что приводит к подключению контура заземления **Gnd-1** к нейтральному проводу, что соответствует требованиям Строительных Норм и Правил.

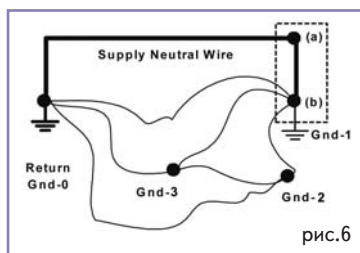


рис.6

Это приводит к тому, что создаются дополнительные параллельные пути для возвратного тока в нейтрали через стальную арматуру здания, железобетонные перекрытия, трубопроводы и земную поверхность. Все эти пути ведут к точке заземления силового трансформатора **Gnd-0** (рис. 6).

На рис. 6 показаны также несколько дополнительных точек заземления **Gnd-2** и **Gnd-3** других объектов на территории предприятия. Так образуется целая сложная сеть для протекания возвратных токов, зависящая от конструкции объектов, погоды, коррозии и многих других факторов, слабо поддающихся учету и моделированию. Если сопротивление проводов нейтрали, идущих от силового трансформатора, и всех их ответвлений мало по сравнению с сетью параллельных каналов в поверхностном слое земли, то малыми токами по земле между зданиями и силовым трансформатором можно пренебречь, как и возникающими при их протекании падениями напряжений.

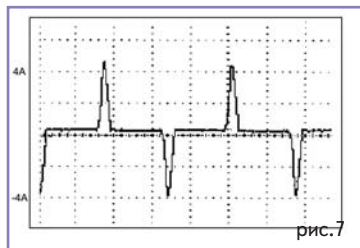


рис.7

### Внештатные ситуации

Давайте рассмотрим несколько случаев, при которых разности потенциалов в проводах заземления могут внезапно значительно возрастать. Заметим, что аналогичные процессы могут происходить и на шинах питания L1, L2, L3, но мы ограничимся только линией заземления.

**Случай 1.** Пусть в системе вентиляции имеется двигатель 30 кВт с четырехпроводным подключением звездой к трехфазной сети 220В с коэффициентом мощности нагрузки равным 0,9. Это означает, что номинальный ток каждой фазы составит 50,5 А. Предположим, что по какой-либо причине разрывается цепь питания на одной из фаз (ток фазы падает до нуля). Тогда векторная сумма токов в нейтрали резко возрастает с нуля

до 50,5 А. Такая ситуация скажется на эффективности и мощности двигателя и скорее всего он будет отключен автоматикой системы управления. Но бросок тока все-таки пройдет по ней-

трале в течение небольшого интервала времени и вызовет всплеск напряжений в точках **Gnd-1**, **Gnd-2** и **Gnd-3**. В результате, приборы и связанные с ними датчики могут выйти из строя.

**Случай 2.** Обрывается линия нейтрали (чинили трубы - зацепили кабель), идущая к трехфазной нагрузке, включенной звездой. При этом потенциал общей точки нагрузки притягивается к напряжению, определяемому разбалансом нагрузки (пусть это будет двигатель из Случая 1). Допустим, что также оборвали одну из фазных линий. Это напряжение составит  $220\sqrt{3}/(2\sqrt{3})=110В$ . Обычно общая точка соединения звезды замыкается на раму двигателя, которая, в свою очередь, подключена к контуру заземления здания. Скорее всего автоматика снова отключит нагрузку, но бросок напряжения в точках **Gnd-1**, **Gnd-2**, **Gnd-3** может не только успеть повредить оборудование, но будет представлять опасность для персонала.

**Случай 3.** Офисное оборудование (компьютеры, мониторы, принтеры, копиры, сканеры) снабжено импульсными источниками питания, входной ток которых обычно имеет сложную импульсную форму (рис.7). Из рисунка видно, что максимальное значение тока достигает 4 ампер на один компьютер при потребляемой мощности не более 200 Вт. Поскольку ток нейтрали определяется как векторная сумма токов всех нагрузок, легко определить, что питание компьютерного зала из 20 компьютеров, подключенных обычно к одной фазе сети, может легко вызвать неожиданные броски напряжения в нейтрали и точке подключения контура заземления здания при общей потребляемой мощности не более 4 кВт.

**Случай 4.** Электрический пробой - самый сложный для анализа и моделирования пример. Не существует какой-либо одной универсальной модели для сети цепей питания с учетом связанных с ними хитросплетений линий заземления со множеством замкнутых контуров, проходящих в толще поверхностного

слоя земли. Разряды молний обладают значительными запасами энергии для создания мощных потоков заряженных частиц и электромагнитных полей огромной величины.

Для примера рассмотрим реакцию цепи заземления на внезапный электрический разряд коротким импульсом тока силой 50А. Для моделирования линии нейтрали и связанных контуров заземления использованы резистивные, индуктивные и емкостные элементы. Эквивалентная схема цепи показана на рис. 8. Из рисунка видно, что размах бросков напряжения (от пика до пика) составит около 700В. В случае грозы результаты окажутся еще более впечатляющими. Но выдержат ли такую нагрузку датчики и оборудование?

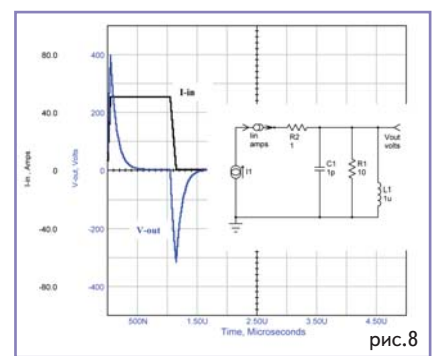


рис.8

Вряд ли Вам удастся защитить оборудование от всех влияний и потенциальных опасностей, но применение надлежащего заземления и использование гальванической развязки позволит сохранить оборудование и избавиться от погрешностей измерения, обусловленных многими факторами.

Дополнительно для снижения влияния помех следует использовать фильтрацию сигналов во входных и выходных цепях нормализаторов.

Для повышения устойчивости работы применяйте модули, выдерживающие долговременную перегрузку по напряжению, равному фазному напряжению питающей сети, а также импульсные переходные процессы. Такие нормализаторы обеспечат защиту и гальваноразвязку не только по линиям питания и заземления, но также изолируют сигналы датчиков и сенсоров от выходной стороны, где располагается оборудование для последующей обработки.

В следующей статье мы рассмотрим воздействие помех общего вида непосредственно на входные цепи измерительного и контрольного оборудования.

*Статья подготовлена по материалам компании DataForth Corporation, USA.*