

# Новое поколение датчиков напряжения,

## соответствующее современным стандартам измерений

**Мишель Жиларди**  
(Michel Ghilardi)

**В** железнодорожной отрасли и в промышленности в последнее время предъявляются чрезвычайно жесткие требования по учету потребляемой электрической энергии. Системы учета должны обладать высочайшими эксплуатационными характеристиками и надежностью, обеспечивая безотказную работу в крайне тяжелых условиях окружающей среды. Также требуется максимально высокий уровень электрической безопасности и гальванической развязки — как для защиты персонала от прикосновения к токоведущим частям с опасными напряжениями, так и для защиты чувствительных измерительных и управляющих цепей от повреждения.

На уровне отдельных компонентов, модулей и подсистем это означает необходимость в повышении уровня гальванической развязки, показателя напряжения затухания частичных разрядов и устойчивости к воздействию внешних электрических, магнитных и электромагнитных полей. Практически по определению верно следующее: любой компонент с высоким уровнем устойчивости к внешним электромагнитным помехам (ЭМП) будет, скорее всего, удовлетворять ограничениям по уровню собственной электромагнитной эмиссии, влияющей на работу соседних цепей. Но это еще одна область, в которой необходимо гарантировать определенные характеристики.

Кроме того, в железнодорожной отрасли предъявляются особые требования к огнестойкости и дымообразованию: материалы, из которых изготавливаются компоненты, должны не только обладать надлежащими электрическими характеристиками, но и выдерживать достаточно интенсивное и продолжительное воздействие огня, не выделяя при этом в атмосферу опасных веществ.

Кроме всех перечисленных выше требований к поставщикам измерительного оборудования, современный рынок также предъявляет повышенные требования по электрическим параметрам и точности этого оборудования. Для железнодорожной отрасли, наряду с потребностью в более совершенных и эффективных тяговых электроприводах, существует требование реализовать более строгий тари-

фикационный учет потребляемой электроэнергии. Составы, пересекающие границы государств и сфер ответственности разных поставщиков электроэнергии, должны генерировать данные, необходимые для достоверной тарификации потребленной электроэнергии. Техническими заданиями на железнодорожное оборудование все чаще предписываются значения основной погрешности измерения напряжения и тока, значительно меньшие 1%.

На промышленном рынке стоит задача повышения КПД электроприводов. В основе повышения качества управления электродвигателем всегда лежит повышение точности измерений электрических параметров — причем не только статических значений уровней напряжения и тока, но и их динамических, мгновенных значений (например, чтобы точно определять во времени точки пересечения нуля сигналом, для коммутации без потерь в инверторах).

### Новое поколение датчиков

Основываясь на приведенных выше соображениях, компания LEM разработала новую серию датчиков напряжения DVL с улучшенными характеристиками для гальванически изолированного измерения напряжения в диапазоне 50–2000 В (действующее значение). Современные требования промышленности и транспорта к датчикам как компонентам, располагающимся на переднем крае цепи измерения и контроля, на языке технических параметров выражаются в обеспечении высокой устойчивости к синфазным помехам, низкого температурного дрейфа, малого времени отклика, широкого диапазона частот и низкого уровня шума (рис. 1).

Вот некоторые применения в железнодорожной отрасли, предъявляющие повышенные требования к качеству измерения напряжения:

- измерения в контактной сети постоянного тока с номинальным напряжением 750 и 1500 В;
- измерения в контактной сети переменного тока с номинальным действующим напряжением до 2000 В;
- измерения для управления силовыми преобразователями, такими как инверторы, конвертеры, вы-

- выпрямители и преобразователи регулировки тормоза;
- распределительные подстанции, на которых датчики напряжения обеспечивают контроль постоянного напряжения, подаваемого в подвесную контактную сеть, на выходе выпрямителя;
- в инверторных приводах — измерения напряжения цепи постоянного тока до 2000 В и напряжения отдельных фаз электродвигателя;
- измерения напряжения в железнодорожной инфраструктуре.

В промышленности и возобновляемой энергетике аналогичные повышенные требования к качеству измерения напряжения предъявляются в следующих применениях:

- частотно-регулируемые электроприводы переменного тока, а также статические преобразователи для электроприводов постоянного тока;
- аппаратура с батарейным питанием, в том числе источники бесперебойного питания (ИБП);
- специализированные источники питания для дуговой сварки, медицинского оборудования и инфраструктуры мобильной связи;
- системы воздушного кондиционирования и вентиляции;
- мощные преобразователи и инверторы солнечных (фотогальванических) и ветряных электрогенераторов.

Несмотря на то, что контролируемые и управляемые системы зачастую имеют большие размеры, а воздействующие на них внешние тепловые эффекты гораздо сильнее тепловых эффектов внутреннего рассеяния мощности в таких устройствах, как измерительные преобразователи (датчики), тем не менее рынок требует уменьшения габаритов и снижения энергопотребления датчиков. В основных чертах, новая серия датчиков напряжения компании LEM полностью совместима с устройствами предыдущего поколения (в частности, с семействами AV 100 и LV 100) по функциональности, основным характеристикам и посадочному месту, но отличается повышенной точностью и температурной стабильностью, что значительно упрощает переход со старых серий на новую. При размерах 137,8×63×64,3 мм датчик DVL вписывается в профиль датчика напряжения на эффекте Холла LV 100, но его объем на 271 см<sup>3</sup> меньше, а масса на 30% ниже, чем у модели AV 100. Датчики предусматривают непосредственную подачу измеряемого напряжения на вход и имеют внутреннюю гальваническую развязку: они построены полностью на базе электронных компонентов и потому относительно нечувствительны к внешним магнитным полям в сравнении с датчиками на эффекте Холла и феррозондовыми магнитометрическими датчиками (fluxgate), имеющими магнитный сердечник. Электроника этих датчиков специально спроектирована для обеспечения низкого энергопотребления и малых потерь в первичной цепи. Благодаря этому исчезает не-

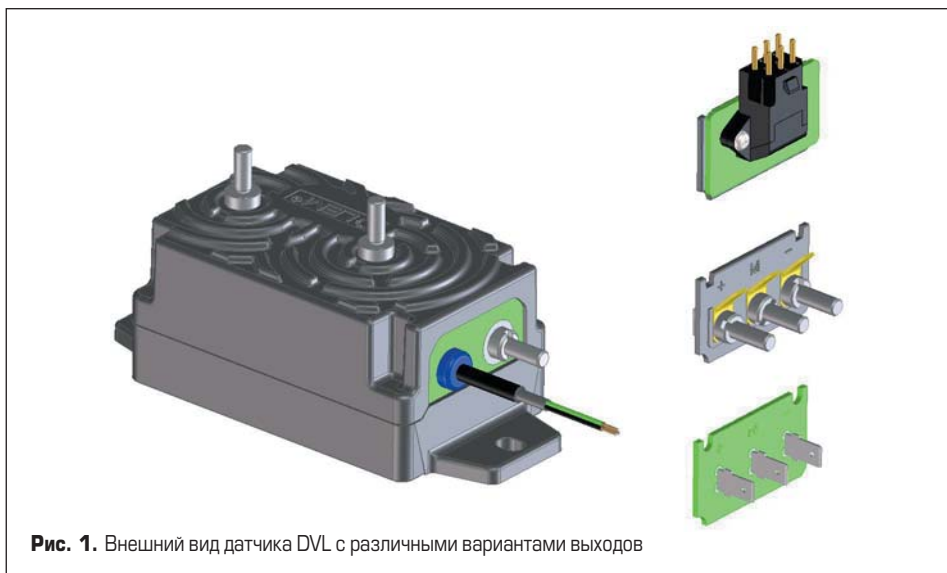


Рис. 1. Внешний вид датчика DVL с различными вариантами выходов

обходимость во внешних радиаторах при сохранении высокого уровня надежности и экономии энергии для конечного пользователя. Компактные размеры и малое тепловыделение позволяют использовать эти датчики в тесных пространствах, например под кожухами электродвигателей и в герметичных корпусах.

Поскольку измеряемое напряжение подается непосредственно на измерительный вход датчика, гальваническая развязка обеспечивается внутри самого датчика с помощью специального патентованного трансформатора. Лучше понять принцип работы датчика можно, взглянув на рис. 2. С входных клемм измеряемое напряжение величиной до  $\pm 2$  кВ поступает на первый каскад — делитель напряжения, который уменьшает его до нескольких сотен милливольт: он рассчитан на очень высокую скорость нарастания входного сигнала ( $dv/dt$ ) и при этом имеет низкий температурный дрейф. Затем, на самой ранней стадии обработки сигнала в датчике, сигнал преобразуется сигма-дельта модулятором в цифровую одноканальную последовательную форму. Начиная отсюда большинство цепей датчика являются цифровыми, что позволяет удерживать температурный дрейф на очень низком уровне, а калибровку начального смещения и чувствительности производить программно в каждом отдельном датчике в процессе производства.

Затем цифровой поток проходит через упомянутый выше импульсный изолирующий трансформатор: в его патентованной конструкции применена специальная защита сердечника исходя из высоких рабочих напряжений, но при этом благодаря высокой частоте импульсной последовательности (10 МГц) размеры трансформатора остаются небольшими. Цифровой сигнал со вторичной обмотки декодируется и фильтруется цифровым фильтром. Полученный в результате цифровой сигнал поступает на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) микроконтроллера. Результирующий выходной сигнал с ЦАП полностью гальванически изолирован от высоковольтного входного напряжения и является его точной пропорциональной копией.

Встроенный в датчик микроконтроллер позволяет в полной мере воспользоваться гибкостью, которую обеспечивают цифровое управление и программирование. Одно и то же устройство можно легко адаптировать к различным диапазонам измерения, программируя коэффициент усиления в микроконтроллере. Микроконтроллер программно компенсирует смещения и корректирует усиление, а затем преобразует сигнал из цифровой формы в аналоговую. Далее аналоговое выходное напряжение фильтруется и преобразуется в ток (в диапазоне  $\pm 75$  мА) с помощью генератора тока, защищенного от коротких замыканий. В качестве опции предлагается

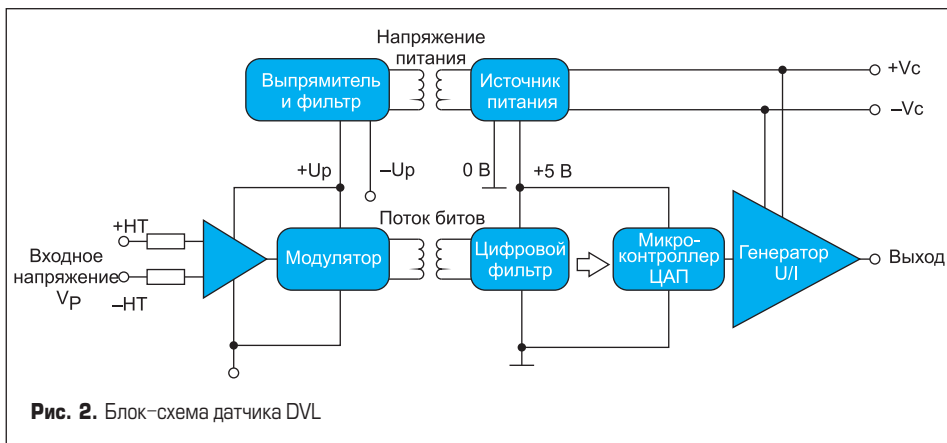


Рис. 2. Блок-схема датчика DVL

модификация датчика со стандартизованным выходом 4–20 мА, который широко применяется в системах промышленной автоматики.

Кроме того, микроконтроллер управляет DC/DC-преобразователем для питания первичных и вторичных цепей. Благодаря такой архитектуре датчики серии DVL характеризуются низким током потребления и малыми потерями. Они потребляют всего 20–25 мА от источника питания напряжением  $\pm 24$  В постоянного тока (диапазон напряжений питания —  $\pm 13,5... \pm 26,4$  В), что означает 30%-ную экономию по сравнению с предшествующими сериями.

### Основные параметры

Примененные в этих датчиках инновационные решения обеспечивают измерение напряжения с суммарной погрешностью не хуже  $\pm 0,5\%$  от  $V_{PN}$  (номинального входного напряжения) при нормальной температуре и суммарной погрешностью не хуже  $\pm 1\%$  от  $V_{PN}$  во всем рабочем диапазоне температур  $-40...+85$  °С. При этом в указанном рабочем диапазоне температур дрейф тока смещения составляет менее  $\pm 150$  мкА, погрешность, обусловленная дрейфом чувствительности, — менее  $\pm 0,5\%$ , погрешность нелинейности — менее  $\pm 0,5\%$ .

Высокоэффективная гальваническая развязка в сигнальном тракте сочетается с тщательно подобранным герметизирующим компаун-

дом и тщательно продуманной конструкцией корпуса, в которой соблюдены надлежащие изолирующие расстояния между первичными и вторичными выводами по воздуху и по поверхности корпуса. Это обеспечило испытательное напряжение прочности изоляции датчика  $8,5$  кВ<sub>эфф</sub> на протяжении одной минуты при рабочем напряжении  $2$  кВ и значение напряжения гашения частичных разрядов выше  $2,7$  кВ<sub>эфф</sub> при заряде  $10$  пКл.

В целевых областях применения датчик DVL должен обладать широкой полосой пропускания и малым временем отклика, чтобы контролировать быстрые изменения входного напряжения и не искажать форму сигнала в инверторных цепях. Время отклика датчика составляет менее  $60$  мкс, полоса пропускания по уровню  $-3$  дБ составляет  $14$  кГц, а уровень выходного шума — менее  $10$  мкА в диапазоне частот от  $1$  Гц до  $100$  кГц. Выверенная конструкция обеспечивает низкую паразитную емкость, а входная цепь сделана идеально симметричной, благодаря чему датчик чрезвычайно устойчив к динамическим синфазным помехам.

### Механические параметры и соответствие стандартам

Реализованный в конструкции датчика модульный подход обеспечивает гибкость в выборе способов подачи входного напря-

жения (клеммы или изолированный кабель) и снятия выходного сигнала (разъемы, экранированные кабели или клеммы). Датчики DVL спроектированы и прошли испытания в соответствии с новейшими международными железнодорожными и промышленными стандартами, включая EN 50155, EN 50178, EN 50121-3-2 и EN 50124-1.

Основные производственные центры компании LEM, занимающиеся производством датчиков напряжения для транспорта, сертифицированы по стандарту IRIS (важнейший стандарт для компаний, поставляющих продукцию на железнодорожный рынок), а также аттестованы по стандарту ISO TS16949 для промышленного рынка. Датчики DVL имеют маркировку CE, которая гарантирует соответствие требованиям европейской директивы по ЭМС (2004/108/ЕЕС) и низковольтному оборудованию (2006/95/ЕЕС). При создании этих датчиков соблюдены принципы экологического проектирования и производства: в частности, они обеспечивают 30%-ное сокращение количества используемых материалов, а также потребляют на 30% меньше электроэнергии. Проведенные всесторонние испытания, в том числе термостерилирование и ускоренные ресурсные тесты, позволяют уверенно гарантировать очень низкую вероятность отказа, высокую стабильность характеристик и длительный срок службы этих датчиков.