

Расширение полезной полосы программируемого источника питания

для создания синусоидальных сигналов

Пол Янг (Paul Young)

Многие приложения требуют подачи синусоидального напряжения на емкостную нагрузку с малым импедансом. Например, такая возможность может понадобиться для эмуляции помех, создаваемых автомобильным генератором, для тестирования помехоустойчивости автомобильной стереосистемы. В таких приложениях могут потребоваться сигналы частотой до 20 кГц с амплитудой 500 мВ («пик-пик») на емкостной нагрузке от 1 мФ до 1 Ф.

Поскольку такая частота является достаточно высокой для обычного источника питания (ИП), в этих тестах, как правило, применяется отдельный генератор с широкополосным усилителем мощности, подмешивающим переменную составляющую к постоянному напряжению ИП. Лишь очень немногие программируемые ИП с функцией модуляции выходного напряжения обладают достаточной полосой для имитации высокочастотных пульсаций без значительного затухания, а НЧ-усилители не обладают достаточной мощностью для питания низкоомных нагрузок. В связи со столь противоречивыми требованиями в таких схемах используются, как правило, дорогостоящие специализированные усилители.

Если бы для проведения таких тестов удалось использовать простой программируемый ИП общего назначения, можно было бы обойтись без дорогого специализированного оборудования. К тому же это упростило бы схему измерения, поскольку постоянное напряжение и переменная составляющая поступали бы от одного и того же прибора.

К счастью, ограничение полосы частот программируемого ИП не мешает запрограммировать синусоиду с частотой, превышающей его верхнюю границу. Это приведет лишь к заметному затуханию переменной составляющей сигнала. Поскольку такое затухание легко прогнозируется, можно рассчитать его для частот, лежащих далеко за пределами номинальной полосы сигнала. Рассчитав необходимую компенсацию для каждой указанной частоты, можно подавать сигналы нужной амплитуды вплоть до частот, лежащих далеко за пределами номинальной верхней границы полосы, указанной в технических характеристиках. Это позволяет эффективно расширить полезную полосу недорогого низкочастотного ИП для генерации необходимых синусоидальных сигналов.

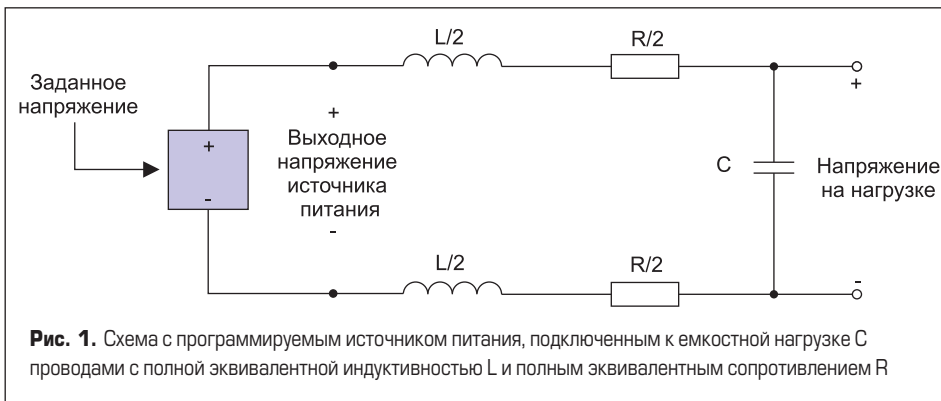
Полоса источника питания

Главным фактором, ограничивающим полосу программируемого ИП, является обычно полоса пропускания схемы регулирования. Эта полоса определяется частотой, на которой начинается затухание вследствие ограничения полосы пропускания обратной связи схемы стабилизации напряжения. Например, если запрограммировать сравнительно низкочастотную синусоиду, частота которой лежит в пределах полосы пропускания схемы регулирования ИП, цепь обратной связи позволит выходному напряжению изменяться в полном соответствии с изменением опорного сигнала на входе. Однако если попробовать запрограммировать более высокочастотную синусоиду, частота которой выходит за пределы полосы пропускания схемы регулирования, схема стабилизации не успеет отработать такой сигнал, и на выходе появится сигнал с ослаблением и задержкой относительно входного опорного сигнала. Такое ограничение схемы стабилизации связано с конструктивными особенностями, направленными на обеспечение высокой стабильности питающего напряжения, и вполне может оказаться, что переделать схему стабилизации не удастся.

Затухание, вызванное нагрузкой

Другим источником затухания является нагрузка и соединительные провода. Если в измерительной схеме большая емкостная нагрузка подключается длинными соединительными проводами, имеющими конечное сопротивление и индуктивность, то в результате образуется демпфированный LC-фильтр. Даже если сам ИП является идеальным источником ЭДС с бесконечной полосой, синусоидальное напряжение на емкостной нагрузке будет сильно затухать выше частоты среза этого LC-фильтра. Амплитудно-частотную характеристику этой схемы легко рассчитать, зная значения сопротивления, емкости и индуктивности, а также их соответствующие сопротивления на интересующих нас частотах.

Например, если соединительные провода имеют индуктивность $L = 1$ мкГн и сопротивление $R = 10$ Ом, а емкость нагрузки $C = 20$ мФ, то коэффициент передачи от выхода ИП до нагрузки начнет падать после частоты $f_n = 1/(2\pi\sqrt{LC}) \approx 1,6$ кГц и быстро достигнет скорости спада 40 дБ/декаду (рис. 1). Сопротивление проводов не оказывает влияния на значение f_n , но демпфирует LC-фильтр. В данном примере синусоидальный сигнал



частотой 1,6 кГц будет ослабляться в два раза на участке от выхода источника до нагрузки, сигнал частотой 5 кГц будет ослабляться в 20 раз, а частотой 16 кГц — в 200 раз. Коэффициент затухания, связанный с нагрузкой и соединительными проводами, умножается на коэффициент затухания самого ИП и дает результирующее общее затухание.

Минимизация индуктивности и емкости позволяет максимально поднять частоту, на которой начинается затухание. Удельная индуктивность проводов составляет около 800 нГн/м, поэтому уменьшение длины проводов снижает индуктивность. Скручивание проводников положительного и отрицательного полюса между собой может снизить индуктивность примерно вдвое при той же длине, а применение специального кабеля с малой индуктивностью позволяет снизить ее еще больше. Может оказаться сложным снизить емкость нагрузки, если тестируемое устройство должно иметь строго определенную входную емкость. Эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора может ограничивать затухание, но оно ограничивает и способность конденсатора подавлять переходные процессы на нагрузке и фильтровать шум ИП.

Компенсация затухания

Если нужно запрограммировать отдельные синусоидальные сигналы с некоторыми ам-

плитудами, частоты которых превышают упомянутую выше граничную частоту, придется рассчитать или измерить затухание на каждой такой частоте. Идея заключается в том, чтобы запрограммировать сигнал с нужной амплитудой, измерить амплитуду переменной составляющей на нагрузке и, разделив запрограммированную амплитуду на измеренное значение, получить коэффициент затухания. Затем, программируя сигнал этой частоты, умножить необходимую амплитуду программируемого сигнала на полученный коэффициент затухания (рис. 2). Построение таблицы зависимости затухания от частоты для данной конфигурации нагрузки позволит автоматически компенсировать затухание во всех последующих тестах при той же нагрузке.

Некоторые более совершенные программируемые ИП оснащены дигитайзером и имеют полосу пропускания измерительного тракта значительно шире полосы схемы регулирования. Такие источники позволяют автоматизировать определение зависимости затухания от частоты, не требуя измерения амплитуды осциллографом. Например, можно написать процедуру в MATLAB или в Microsoft Excel VBA, которая будет программировать синусоидальный сигнал заданной частоты, измерять его и рассчитывать реальную амплитуду на выходе, используя для этого встроенный измеритель ИП, а затем будет вычислять результирующее затухание. Этот процесс мож-

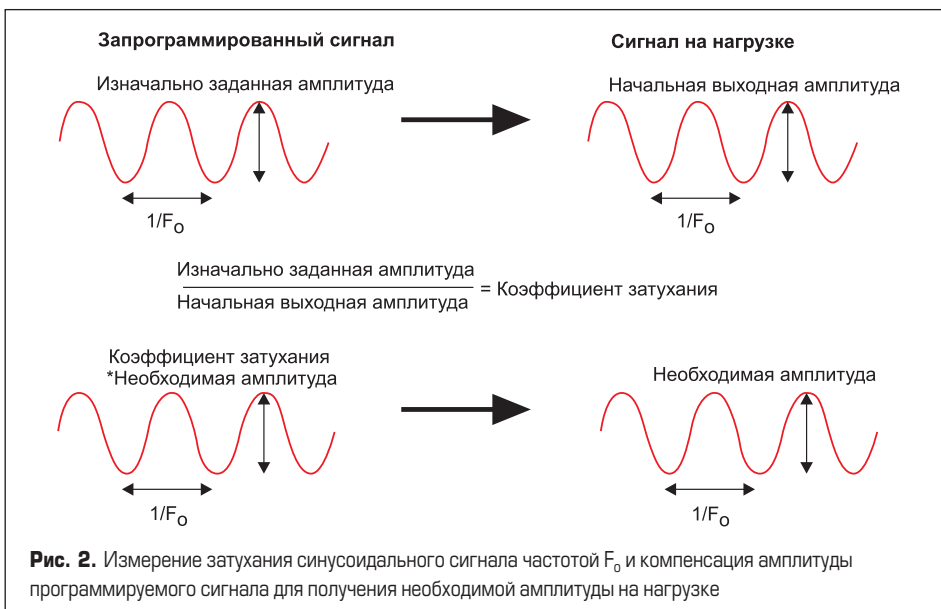


Рис. 2. Измерение затухания синусоидального сигнала частотой F_0 и компенсация амплитуды программируемого сигнала для получения необходимой амплитуды на нагрузке

но повторить для всего набора частот вплоть до максимальной частоты, поддерживаемой устройством. Это особенно полезно, если параметры нагрузки часто меняются и нужен способ быстрого пересчета АЧХ. Ярким примером ИП, обладающих такой способностью, являются динамические ИП серии Agilent N7900 из производственной системы питания.

Практические ограничения амплитудной компенсации

Возможность компенсации затухания амплитуды выходного сигнала ИП на нагрузке и проводах имеет несколько ограничений. Давайте рассмотрим сценарий, в котором мы хотим запрограммировать сигнал амплитудой 5 В («пик-пик») и частотой 20 кГц с постоянной составляющей 12 В с помощью ИП с максимальным постоянным напряжением 24 В. На первый взгляд может показаться, что эта задача вполне разрешима, поскольку максимальное напряжение на нагрузке равно 14,5 В, а минимальное — 9,5 В, что укладывается в характеристики ИП. Однако затухание, которое нужно скомпенсировать, может сделать задачу неразрешимой. Если полоса программируемого сигнала равна 2 кГц, то коэффициент затухания на частоте 20 кГц, вызванный ограничением полосы схемы регулирования ИП, может быть около 14 для типовой схемы стабилизации. Если соединительные провода имеют индуктивность 1 мкГн и сопротивление 10 мОм, а емкость нагрузки равна 1 мФ, то коэффициент затухания, вызванный нагрузкой и проводами, будет около 5. Суммарный коэффициент затухания будет равен $14 \times 5 = 70$. Теоретически для компенсации такого затухания нужно запрограммировать синусоидальную составляющую амплитудой 350 В («пик-пик»). Ясно, что ИП не позволит задать такое значение. Задаваемое с учетом компенсации значение не должно превышать возможностей ИП, в противном случае он просто не сможет воспроизвести нужный сигнал.

Кроме того, внутренняя схема ограничения тока ИП может не позволить запрограммировать высокочастотный сигнал с большой амплитудой. Даже если запрограммированная амплитуда лежит в допустимом диапазоне ИП, необходимая скорость изменения сигнала может оказаться слишком большой. Если попытаться запрограммировать такой сигнал, он может получиться искаженным, близким к треугольнику и, возможно, асимметричным. Этот эффект становится наиболее выраженным для нагрузок с низким импедансом и при подаче большого постоянного тока. Если для тестирования желательны малые искажения, то лучше исследовать реальный выходной сигнал и убедиться, что он синусоидальный.

Расширение полезной полосы программируемого ИП позволяет получить от имеющегося оборудования гораздо больше, чем вы предполагали. Кроме того, этот подход позволяет использовать менее дорогое оборудование для решения сложных задач.