

## Измерение тока на отрицательной шине питания с помощью прецизионного инструментального усилителя

Акшай БХАТ

Для работы цифровых сетей ISDN и телекоммуникационных систем необходимы измерители тока, способные работать с отрицательными потенциалами. В статье описана схема подобного измерителя. Рассматриваемая схема является весьма гибкой и может быть легко адаптирована для измерения тока минусовых шин питания с различным уровнем напряжения. Для пояснения работы схемы использован инструментальный усилитель MAX4460 с однополярным питанием.

### Введение

Токовые усилители верхнего уровня используются главным образом для мониторинга тока плюсовой шины питания. Однако в таких применениях, как цифровые сети ISDN и телекоммуникационные системы, необходимы измерители тока, работающие с отрицательными потенциалами. Пример разработки подобного устройства приведен в данной статье.

### Пример применения

На рис. 1 показана блок-схема разводки электропитания стандартной телефонной станции. Выпрямитель преобразует входное сетевое переменное напряжение в сигнал постоянного тока, который используется для заряда

свинцово-кислотного аккумулятора напряжением 48 В. Батарея снабжает энергией потребителей по телефонной линии. Полярность подключения батареи такова, что напряжение линии является отрицательным (-48 В). Использование отрицательного напряжения способствует уменьшению коррозии, вызываемой электрохимическими реакциями, возникающими из-за высокой влажности.

В телекоммуникационных сетях применяются несколько DC/DC-конвертеров, формирующих промежуточные напряжения питания от шины -48 В DC. Эти промежуточные напряжения необходимы для питания коммутаторов, радиоточек, маршрутизаторов, АТХ компьютеров и другого телефонного оборудования. Для мониторинга состояния этих цепей необходимы измерители тока, контролирующие потребление по шине -48 В.

### Описание схемы

На схеме, приведенной на рис. 2, показана практическая реализация узла измерения тока минусовой шины. Для его построения используется инструментальный усилитель типа MAX4460 или MAX4208 и набор дискретных компонентов. Стабилитрон  $D_1$  защищает инструментальный усилитель от перегрузки по напряжению, обеспечивая при этом напряжение, достаточное для работы схемы. Измеряемый ток протекает к отрицательной шине через измерительный резистор  $R_{SENSE}$ . Инструментальный усилитель должен иметь однополярное питание и обладать чувствительностью к входным сигналам, имеющим уровень «земли» (корпуса).

Выходное напряжение MAX4460 является управляющим напряжением затвора полевого МОП-транзистора  $M_1$ . Благодаря отрицательной обратной связи падение напряжения на резисторе  $R_3$  равняется  $V_{SENSE}$  — напряжению на резисторе  $R_{SENSE}$ . Соответственно,  $R_3$  устанавливает ток, пропорциональный току нагрузки:

$$I_{OUT} = (I_{LOAD} \times R_{SENSE}) / R_3 = V_{SENSE} / R_3. \quad (1)$$

$R_2$  подбирается таким образом, чтобы выходное напряжение находилось в пределах требуемого диапазона напряжений следующей цепи (обычно АЦП).

Напряжение пробоя сток-исток полевого МОП-транзистора должно превышать суммарное падение напряжения между двумя шинами питания (в данном случае +125 В). Если используемый АЦП не имеет высокоомного входа,  $V_{OUT}$  можно подавать на его вход через буферный операционный усилитель. Если измерительный ток превышает но-

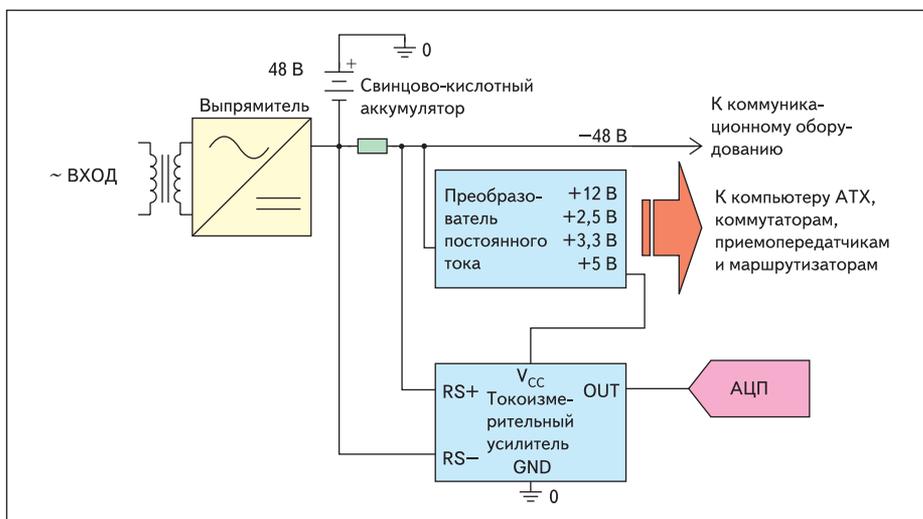


Рис. 1. Блок-схема источника питания центральной телефонной станции

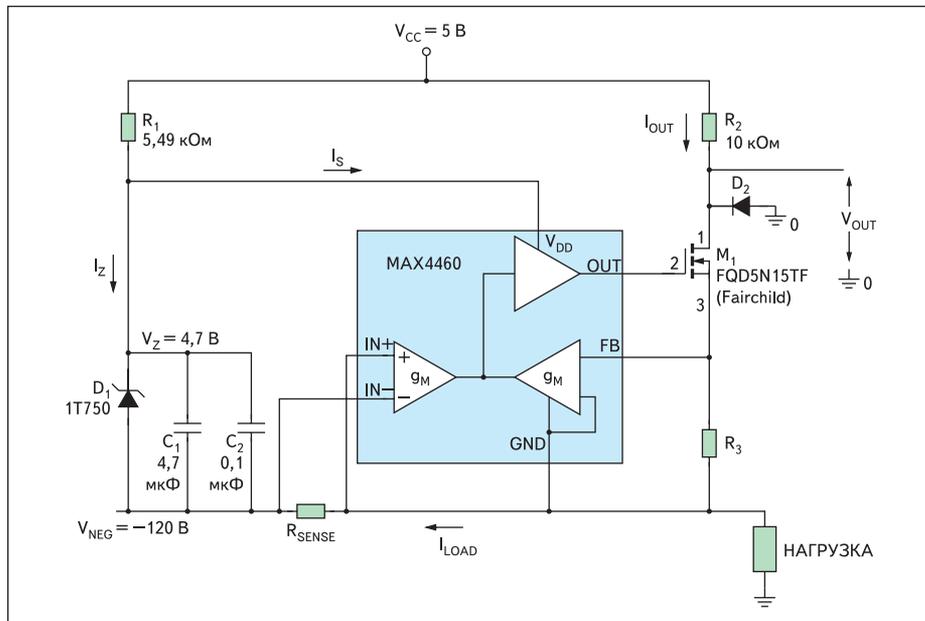


Рис. 2. Измеритель тока отрицательной шины питания на базе MAX4460

минальное значение вследствие какой-либо неисправности, выходное напряжение становится отрицательным. Диод D2 защищает АЦП от повреждения, ограничивая отрицательное напряжение на выходе величиной падения напряжения на диоде.

**Порядок проектирования**

Описанную конструкцию можно легко адаптировать для измерения токов на отрицательных шинах питания высокого напряжения. Эта гибкость иллюстрируется путем выбора напряжения отрицательной шины -120 В. Следуя приведенной далее простой процедуре, можно спроектировать токоизмерительный усилитель для другой шины питания.

**Выбор стабилитрона**

Задавая смещение стабилитрона, важно выбрать такую точку на его передаточной характеристике, в которой у него было бы низкое динамическое сопротивление (то есть до-

статочно далеко в области обратного пробоя), во избежание ошибок, связанных с подавлением помех по питанию. На рис. 3 показан график зависимости тока стабилитрона от напряжения для стандартного обратно смещенного стабилитрона. Данные показывают, что стабильность напряжения стабилитрона вблизи от напряжения пробоя невысока. Поэтому общее правило — устанавливать рабочую точку на уровне около 25% от максимального тока, задаваемого номинальной мощностью. Такая рабочая точка обеспечивает низкое динамическое сопротивление без излишнего расхода электроэнергии. Рабочая точка устанавливается путем выбора резистора R1 по следующей формуле:

$$I_{R1} = (V_{CC} + |V_{NEG}| - V_Z) / R_1 = I_S + I_Z \quad (2)$$

где V<sub>CC</sub> — напряжение положительной шины питания; V<sub>Z</sub> — стабилизированное напряжение стабилитрона; |V<sub>NEG</sub>| — абсолютное значение напряжения отрицательной шины

питания; I<sub>S</sub> — потребляемый ток MAX4460; I<sub>Z</sub> — ток, протекающий через стабилитрон.

Резистор R<sub>1</sub> должен иметь соответствующую номинальную мощность и выдерживать высокие напряжения. Чтобы ослабить эти ограничения, вместо него можно использовать последовательно-параллельное включение резисторов меньшей номинальной мощности.

**Выбор мощного транзистора**

n-канальный полевой МОП-транзистор, или полевой транзистор с управляющим p-n-переходом, должен иметь напряжение пробоя сток-исток, превышающее |V<sub>NEG</sub>| + V<sub>CC</sub>. Это ограничение важно при высоком отрицательном напряжении питания.

**Выбор R<sub>SENSE</sub>**

Выберите R<sub>SENSE</sub> так, чтобы максимальное измерительное напряжение на резисторе R<sub>SENSE</sub> не превышало 100 мВ.

**Выбор R<sub>3</sub>**

Сопротивление R<sub>3</sub> можно выбирать достаточно гибко. Для удачного выбора следует руководствоваться двумя наблюдениями:

1. Из формулы (1) следует, что с уменьшением R<sub>3</sub> при фиксированном усилении увеличивается рассеиваемая мощность.
2. Тепловой шум и ток утечки полевого транзистора задают верхний предел значения R<sub>3</sub>.

**Выбор R<sub>2</sub>**

Отношение сопротивлений резисторов R<sub>2</sub> и R<sub>3</sub> равно коэффициенту усиления по напряжению результирующего токоизмерительного усилителя. Выходное напряжение определяется по следующей формуле:

$$V_{OUT} = V_{CC} - I_{OUT} \times R_2 \quad (3)$$

Из формул (1) и (3) имеем:

$$V_{OUT} = V_{CC} - (V_{SENSE} \times R_2 / R_3).$$

Дифференцируя по V<sub>SENSE</sub>: коэффициент усиления по напряжению A<sub>v</sub> = -R<sub>2</sub>/R<sub>3</sub>. (4)

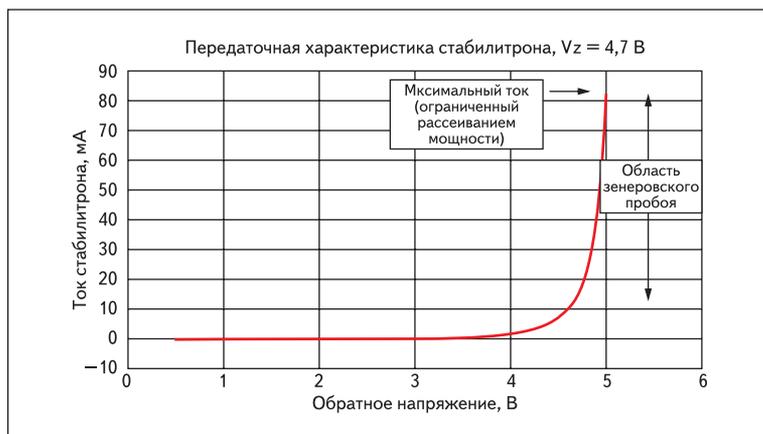


Рис. 3. Передаточная характеристика стабилитрона 1N750, V<sub>Z</sub> = 4,7 В.

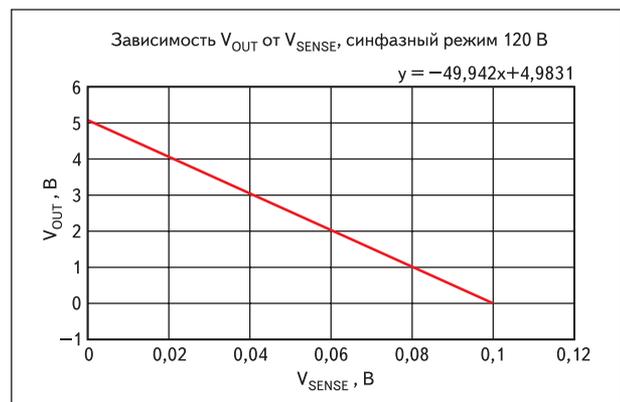


Рис. 4. Изменение выходного напряжения с изменением измерительного напряжения при T = +25 °С

Знак «минус» показывает, что выходное напряжение инвертируется относительно входного измерительного напряжения.

Из формулы (4) можно определить  $R_2$ .

#### **Результаты**

На рис. 4 изображен типичный график зависимости выходного напряжения от измерительного напряжения. По ней можно определить следующие типичные значения параметров токоизмерительного усилителя:

- Напряжение смещения, приведенное к входу, равно  $(5-4,9831)/49,942 = 338$  мкВ.
- Коэффициент усиления равен  $-49,942$ .

#### **Заключение**

В статье показано использование прецизионного инструментального усилителя, такого как MAX4460, для измерения тока при отрицательном напряжении. Описанную схему можно легко приспособить для измерения тока на отрицательных шинах с другим напряжением, следуя приведенной процедуре.

Аналогичная статья была опубликована в августовском выпуске журнала «Power Electronics Technology» (издательство Penton Publication) за 2007 г.

Для получения дополнительной информации обращайтесь к официальным дистрибьюторам компании Maxim в России — [www.maxim-ic.ru/contact](http://www.maxim-ic.ru/contact). ■