

ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСИМПЕДАНСНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

ДЭВИД ВЕСТЕРМАН (DAVID WESTERMAN), инженер-технолог, National Semiconductor

В статье рассмотрен расчет устойчивости и полосы пропускания трансимпедансных операционных усилителей с корректирующей емкостью в цепи обратной связи. Проведен расчет конденсатора для практической схемы, показаны экспериментальные осциллограммы и даны рекомендации по настройке.

ВВЕДЕНИЕ

Передаточная функция трансимпедансного операционного усилителя (ТИОУ) представляет собой зависимость выходного напряжения от входного тока и имеет размерность сопротивления. К ТИОУ относятся ОУ с токовой обратной связью. Когда к входу ОУ с обратной связью по напряжению подключен источник тока, например фотодиод (в обратную связь в этом случае включает резистор с большим сопротивлением), ОУ также можно считать ТИОУ. Для стабилизации схемы параллельно этому резистору ставится конденсатор достаточно большой емкости. В статье рассматривается расчет конденсатора для получения наибольшей полосы пропускания с сохранением устойчивости схемы.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

На рисунке 1 показана полная схема ТИОУ, используемого для усиления тока фотодиода VD. В большинстве случаев для смещения $V_{смещ}$ используется шина питания +V. На эквивалентной схеме (см. рис. 2) фотодиод представлен в виде источника тока I_{ph} и паразитных емкостей. Эта схема удобна для нахождения передаточной характеристики ТИОУ. Примем, что усилитель идеален, поэтому на инвертирующем входе виртуальный ноль. Емкости $C_{см}$ и C_J не влияют на передаточную функцию, поэтому мы их не учитываем. Таким образом, выражение для передаточной характеристики имеет следующий вид:

$$V_{out}/I_{ph} = -R_F/(1 + sC_F R_F), \quad (1)$$

отсюда

$$V_{out} = -I_{ph} R_F/(1 + sC_F R_F). \quad (2)$$

Таким образом, появляется полюс на частоте $f_p = 1/2 \pi R_F C_F$, который стабилизирует схему (этот эффект будет рассмотрен позже). Для нахождения

коэффициента передачи ОС обозначим: $C_{IN} = C_J + C_{см}$. Таким образом получаем простую дифференцирующую схему с заземленной входной емкостью C_{IN} . Коэффициент передачи сигнала ОС характеризует величину напряжения, которое передается с выхода ОУ на вход.

После некоторых упрощений получаем окончательное выражение для коэффициента обратной связи F:

$$F = (1 + sC_F R_F)/1 + s(C_{IN} + C_F)R_F. \quad (3)$$

Таким образом, коэффициент F для ТИОУ выражается так же, как и для дифференцирующей цепочки. Разница заключается только в добавлении емкости C_{IN} , которая представляет собой сумму емкости фотодиода и входной емкости усилителя. Заметим, что для низких частот $F = 1$. Коэффициент усиления с ОУ обратной связью ОУ равен $1/F$. Для устойчивости в схему добавляют стабилизирующий конденсатор C_F . Однако включение дополнительной емкости уменьшает полосу пропускания, поэтому следует искать компромисс.

На рисунке 3 показаны частотные зависимости коэффициента усиления A без обратной связи и коэффициента усиления $1/F$ с ОС при оптимальном значении C_F . Полюс $1/F$ находится на графике A, другими словами, значение C_F оптимально при $A = 1/F$ или $AF = 1$. В отсутствие C_F $1/F = 0$, что вызывает сдвиг фаз почти на 180° в точке пересечения графиков A и $1/F$. Появление полюса на частоте f_p обеспечивает компенсацию с опережением или запаздыванием, при этом фазовый сдвиг в точке пересечения составляет 135° . Таким образом, запас по фазе составит 45° . При недостаточной компенсации усилителя точка пересечения будет лежать выше второго полюса ТИОУ.

Из выражения для F найдем значение полюса $1/F$:

$$f_p = 1/2\pi C_F R_F. \quad (4)$$

Частота, до которой $1/F = 0$, выражается следующим образом:

$$f_z = 1/2\pi(C_{IN} + C_F)R_F. \quad (5)$$

При частоте f_z наклон графика $1/F$ меняется с 0 дБ на +20 дБ. Для стабильности работы усилителя наклон снова должен стать равным нулю. Это достигается

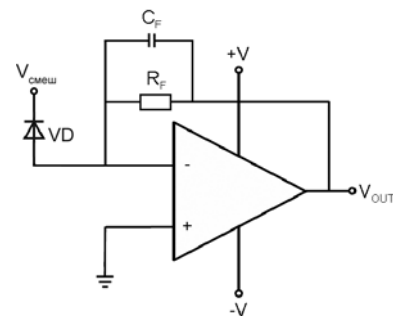


Рис. 1. Схема включения ТИОУ

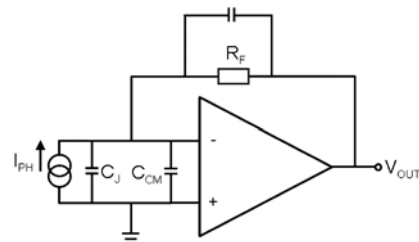


Рис. 2. Эквивалентная схема фотодиода: C_J – емкость обедненной области диода; I_{ph} – ток диода



Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики ТИОУ с разомкнутой и замкнутой ОС

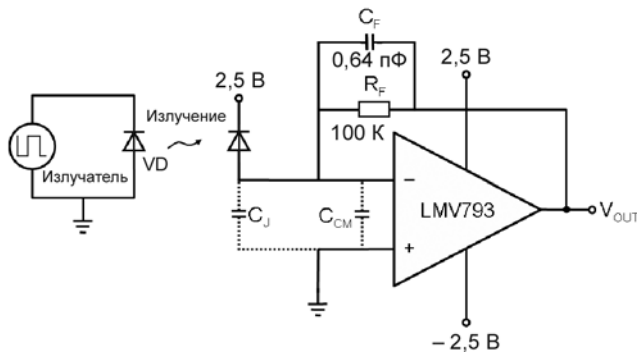


Рис. 4. Практическая схема реализации ТИОУ

ется как раз на втором полюсе, обусловленным конденсатором C_F .

На рисунке 3 пунктиром изображен случай перекомпенсации, когда величина C_F слишком большая. В этом случае полюс сдвигается на более низ-

кую частоту. Более того, влияние слагаемого C_{IN} в знаменателе выражения (5) уменьшается, поэтому частота f_z также уменьшается. Перекомпенсацию следует применять тогда, когда усилитель недостаточно компенсирован и точка пересечения графиков A и $1/F$ находится рядом со вторым полюсом характеристики A .

Коэффициент усиления без ОС находится из простого соотношения:

$$A = \omega_{GBW} / \omega = f_{GBW} / f, \quad (6)$$

где f_{GBW} — частота единичного усиления.

Учитывая, что $AF = 1$, опуская промежуточные преобразования и упрощая полученные выражения, в конечном итоге получаем выражение:

$$1 + ((C_{IN} + C_F) / C_F)^2 = 8(\pi f_{GBW} C_F R_F)^2. \quad (7)$$

Это уравнение довольно сложно решить относительно C_F . Для большинства случаев справедливо допущение $C_{IN} \gg C_F$. Принимая его, получаем окончательное выражение для C_F :

$$C_F = \sqrt{\frac{C_{IN}}{2\sqrt{2}\pi f_{GBW} R_F}}. \quad (8)$$

Это формула для нахождения оптимальной величины емкости C_F . Если C_F требуется слишком большая и вызывает звон в схеме, то следует использовать перекомпенсацию. Однако перекомпенсация уменьшит полосу пропускания ТИОУ.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Рассмотрим схему (см. рис. 4) на операционном усилителе LMV793 фирмы National Semiconductor. Это средний по быстродействию усилитель с недостаточной компенсацией, полосой пропускания 88 МГц и входной емкостью 15 пФ. В качестве датчика выбран фотодиод PIN-HR040 фирмы OSI Optoelectronics с полосой пропускания 300 МГц, чтобы он не ограничивал полосу пропускания усилителя. Емкость

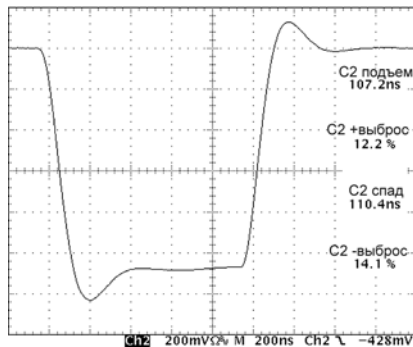
фотодиода 7 пФ. В качестве источника света используются лазерные диоды с короткими фронтами и срезами (5 нс). Сопротивление в цепи обратной связи $R_F = 100$ кОм для получения большого коэффициента усиления.

Развязывающие конденсаторы источников питания не показаны, однако следует учитывать, что на каждой шине питания установлен танталовый конденсатор емкостью 6,8 мкФ для фильтрации низких частот и керамический конденсатор емкостью 0,1 мкФ для фильтрации высоких частот. Керамический конденсатор следует размещать как можно ближе к выводам питания операционного усилителя.

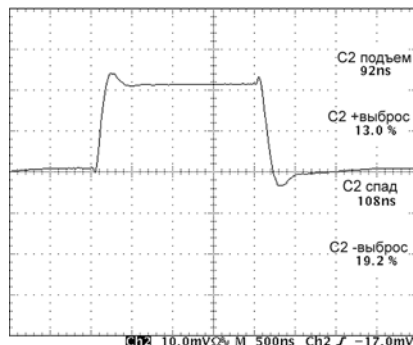
Емкость фотодиода $C_J = 7$ пФ, входная емкость усилителя $C_{CM} = 15$ пФ, значит, суммарная входная емкость составляет $C_{IN} = 22$ пФ. Используя выражение (8), получаем $C_F = 0,53$ пФ. Это очень маленькое значение. В схему включен конденсатор с номинальной емкостью 0,5 пФ, однако его измеренное значение оказалось 0,64 пФ, таким образом, ТИОУ немного перекомпенсирован. Полосу пропускания можно найти исходя из постоянной времени $R_F C_F$ или по временам фронта. В первом случае получаем 2,5 МГц, а во втором 3,2 МГц. Наличие выброса говорит о том, что запаса по фазе 45° не хватает. Выходная реакция усилителя показана на рисунке 5а и 5б.

Теперь рассмотрим ТИОУ с маленьким коэффициентом усиления. Для этого в схему на рисунке 4 включим $R_F = 10$ кОм, при этом коэффициент усиления уменьшится в 10 раз, а полоса пропускания расширится. Однако излучение светодиода теперь должно быть в десять раз ярче для получения того же уровня выходного сигнала. Расчетное значение стабилизирующей емкости $C_F = 1,7$ пФ, а номинальная емкость конденсатора в схеме равна 1,8 пФ. При данных параметрах полюс располагается на частоте 8,8 МГц, а коэффициент усиления с ОС $1/F = 10$, это минимально допустимый коэффициент усиления для стабильной работы LMV793.

Таким образом, все условия стабильности работы двухполюсной схемы выполнены, однако при испытаниях в лаборатории выявляется довольно сильный звон схемы. Это могло быть вызвано наличием дополнительных полюсов и нулей, близко расположенных ко второму полюсу. Потребовалась перекомпенсация схемы. Примем $C_F = 2,7$ пФ. На рисунке 6 показана выходная реакция ТИОУ при $R_F = 10$ кОм $C_F = 2,7$ пФ. Времена фронта и среза для данной схемы равны приблизительно 33 нс, отсюда полоса пропускания составляет 10,6 МГц. Полюс распола-



а)



б)

Рис. 5. Выходной сигнал ТИОУ при $R_F = 100$ кОм

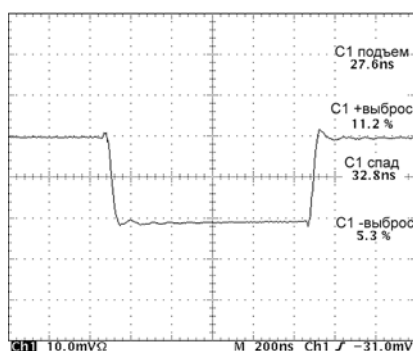


Рис. 6. Выходной сигнал ТИОУ при $R_F = 10$ кОм

гается на частоте 5,9 МГц. Выходной сигнал ТИОУ для этого случая показан на рисунке 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устойчивость ТИОУ рассчитывается так же, как и для дифференциального усилителя. Единственная разница между ними заключается в использо-

вании фотодиода в качестве источника входного тока. Фотодиод не влияет на расчет стабильности, его емкость учитывается во входной емкости усилителя.

В лаборатории были протестированы две схемы с разными коэффициентами усиления. Результаты экспериментов сходятся с теорети-

ческими. Выражение (8) для C_F применимо для всех видов дифференциальных усилителей, более того, несмотря на различие передаточных характеристик ТИОУ и дифференциального усилителя, выражения для коэффициента передачи сигнала ОС в расчете стабильности обоих усилителей совпадают.

СОБЫТИЯ РЫНКА

| АГЕНТСТВО ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО РЫНКА IC INSIGHTS: НЕБЕСА НЕ РУШАТСЯ | Признавая, что экономике США довелось знать и лучшие времена, агентство по исследованию рынка IC Insights утверждает, что не время паниковать и настаивает на том, чтобы полупроводниковые компании дождались окончательных результатов по первому кварталу, прежде чем переоценивать рыночные прогнозы. На текущий момент IC Insights не собирается снижать прогноз по рынку ИС на 2008 г., предсказывая рост полупроводникового рынка на 9% на протяжении всего 2008 г.

www.russianelectronics.ru

| КОМПАНИЯ «МАКРО ГРУПП» ПОЛУЧИЛА СТАТУС АВТОРИЗОВАННОГО ДИЛЕРА INTERSIL | 4 февраля 2008 г. компания «Макро Групп» подписала соглашение с американской компанией Intersil и получила статус авторизованного дилера (Value Added Dealer) Intersil на территории России и стран СНГ.

Intersil является одной из лидирующих компаний в области производства высокотехнологичных аналоговых компонентов и известна своими разработками для силовой электроники и управления электропитанием, телекоммуникаций, ЖК-панелей, систем передачи данных.

В разных странах мира размещены 6 фабрик и 8 сервисных центров Intersil. Потребителями продукции Intersil являются такие известные компании, как Intel, Sharp, Cisco, IBM, Sony, Compaq, Alcatel и др.

Более подробно ознакомиться с информацией о компании Intersil, а также о линейке предлагаемой продукции можно на сайте www.macrogroup.ru в разделе «Производители».

www.macrogroup.ru



Печатные платы, комплектация, монтаж



Стандартный срок изготовления - 2 недели



Единственный в России специализированный завод печатных плат "Электроконнект"

Оцените преимущества работы без посредников



СРОЧНЫЕ ПЛАТЫ Любая партия от 2-х дней!



Москва (495) 787-65-02 Санкт-Петербург (812) 271-56-87 Екатеринбург (343) 251-29-69 Ростов-на-Дону (863) 262-70-53 Новосибирск (383) 336-10-01 www.pselectro.ru