

Александр Толкачев
компания «Планар»

Оптические приемники XXI века

Возможно, еще один взгляд на схемы построения оптического приемника поможет сделать более осознанный и обоснованный выбор оптического оборудования, а также будет полезен для молодых разработчиков подобного оборудования и примкнувшим к ним. В этом номере мы публикуем первую часть статьи.

Функциональная схема современного оптического приемника имеет в своем составе несколько основных блоков.

1. Непосредственно преобразователь оптического сигнала в электрический — фотодиод.
2. Трансимпедансный усилитель — широкополосный усилитель с высоким входным и низким выходным сопротивлениями.
3. Атенюатор и эквалайзер — для формирования необходимой АЧХ участка кабельной сети.
4. Выходной широкополосный усилитель — для получения необходимого максимального выходного уровня.
5. Блок питания.

Остальные функциональные блоки являются дополнительными и лишь увеличивают функциональность и сервисные свойства оптического приемника или его надежность. (Хотелось бы сразу оговориться, не все дополнения к классической схеме приемника увеличивают его надежность, а также надежность и управляемость всей системы передачи ТВ-сигнала.)

Например:

6. Система АРУ.
7. Делитель мощности на выходе приемника — вещь полезная, позволяет сэкономить на магистральном ответвителе. Обычно выполняется в виде модуля вставки с различными коэффициентами деления.
8. Устройства индикации и контроля, индикатор входной оптической мощности (десяти сегментный светодиодный индикатор вполне способен компенсировать отсутствие полноценного измерительного прибора), индикация активного оптического входа (для двухканального приемника) поможет при инсталляции и эксплуатации.
9. Контрольные отводы. Вещь привычная и знакомая по широкополосным усилителям. Единственное, что хотелось бы отметить: не стоит обольщаться, неравномерность АЧХ контрольного отвода в лучшем случае не хуже общей неравномерности устройства, а в худшем вполне

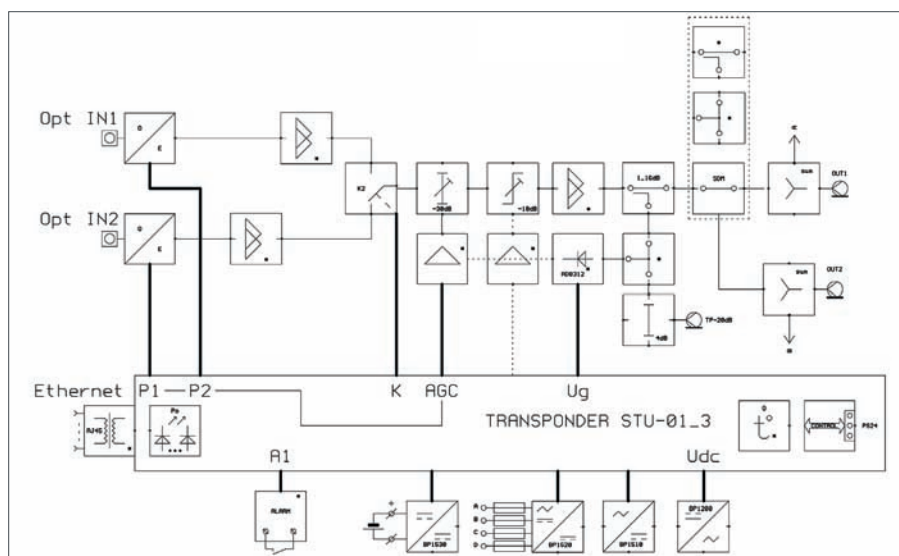


Рис. 1. Пример функциональной схемы оптического усилителя

возможен разброс в ± 3 дБ; для точных измерений необходимо пользоваться измерительным ответвителем или запросить у производителя АЧХ конкретного контрольного отвода.

10. Элементы защиты приемника от перенапряжений, наводок и электростатики. Это газонаполненные разрядники, диодные ограничители, ФВЧ и ФНЧ, антистатические резисторы и супрессоры... Тема сама по себе благодатная, горит все и вся. Заземляйтесь правильно, господа!

11. Инжекторы и переключатели для различных типов БП, перемычки или предохранители для конфигурирования подачи питания.

12. Модуль системы мониторинга.

13. Системы резервирования. К примеру, приемник может быть оснащен двумя оптическими входами, алгоритм срабатывания коммутатора системы резервирования может быть различным, два оптических входа могут быть равнозначными или основным и резервным, пороги переключения устанавливаются как локально, так и дистанционно, резервирование может быть встроенное или опционное и т.д.

14. Микропроцессорная система управления и регулировки параметрами приемника. Присутствует там, где есть электронные регулировки. Требует немного больше сноровки и сообразительности, чем ручка-крутилка «больше-меньше», удорожает приемник, но более стабильна и информативна.

Пример функциональной схемы современного оптического усилителя показан на рис. 1.

Остановимся отдельно на некоторых из блоков. Возможно, эта часть будет более интересна для инженеров, занимающихся разработкой подобного оборудования, но и для других окажется небесполезной. Итак:

1. Фотодиод — сердце оптического приемника, один из самых дорогостоящих элементов, во многом определяющий основные параметры устройства в целом. Задача остальных компонентов — не испортить и приумножить полученные на выходе фотодиода параметры электрического сигнала. Основными параметрами фотодиода являются:

Диапазон детектируемого оптического сигнала (1100...1650 нм).

Чувствительность (0,85 мА/мВт@1310 нм, 0,95 мА/мВт@1550 нм).

Диапазон частот (1000 или 3000 МГц).

Интермодуляционные искажения 2-го и 3-го порядка.

Темновой ток (0,1 нА).

Коэффициент возвратных оптических потерь (40...50 дБ).

Максимальная входная оптическая мощность (10 мВт).

В скобках приведены типовые характеристики из справочных данных на фотодиоды.

Ниже приведены формула и пример, позволяющие понять, как характеристики фотодиода, входного сигнала и трансимпедансного усилителя влияют на параметры оптического приемника.

Полезная формула № 1.

Расчет отношения сигнал/шум:

$$SNR = \frac{G^2 \cdot [R \cdot P_i \cdot m]^2 \cdot R_L}{R_L \cdot 2e \cdot [I_t + R P_i] \cdot B + 4kTB \cdot F_n}$$

Характеристики	Значение в примере
G — усиление фотодиода	1
R — чувствительность	0,85 А/Вт
P _i — входная оптическая мощность	-6 дБмВт
m — индекс модуляции	3,5%
R _L — сопротивление цепи смещения	400 Ом
e — заряд электрона	1,6x10 ⁻¹⁹ Кл
I _t — темновой ток фотодиода	1 нА
B — полоса пропускания ТВ-канала	5 МГц
k — постоянная Больцмана	1,38 · 10 ⁻²³ Дж/К
T — температура	25° С
F _n — коэффициент шума предварительного усилителя	4,5 дБ

В примере SNR = 46,5 дБ.

Следующие три примера иллюстрируют вытекающие из формулы 1 зависимости величины отношения сигнал/шум на выходе приемника от его характеристик.

Пример № 1. Влияние чувствительности фотодиода на сигнал/шум

Изменение чувствительности	Дает выигрыш SNR
с 0,85 до 0,95 мА/мВт	0,9 дБ.
с 0,95 до 0,99 мА/мВт	0,3дБ

Пример № 2. Влияние Kш(Fn) трансимпедансного усилителя

Kш	Динамика понижения SNR
2 дБ	0 дБ
3 дБ	1,2 дБ
4 дБ	2,1 дБ
5 дБ	2,8 дБ

Пример № 3. Влияние входного сопротивления трансимпедансного усилителя

R _L	Динамика повышения SNR
75 Ом	0 дБ
150 Ом	2,6 дБ
300 Ом	4,9 дБ

Эти примеры также демонстрируют противоречие, с которым разработчики сталкиваются при изготовлении приемников FTTH, которые должны хорошо работать с низкими входными уровнями оптической мощности. Дешевый приемник требует применения дорогих компонентов: фотодиода с высокой чувствительностью и малошумящего входного усилителя.

2. Трансимпедансный усилитель.

Это та часть оптических приемников, которая более всего подверглась интеграции за последнее время. Классическая схема такого усилителя выполнялась на дискретных элементах, неотъемлемой частью которых являлся широкополосный трансформатор сопротивлений (два в случае двухтактной схемы) на ферритовом сердечнике и малошумящий широкополосный усилитель с высоким выходным уровнем. Для получения необходимых шумовых характеристик используются различные методы минимизации шума усилителя.

Методы минимизации коэффициента шума усилителя

Собственные шумы усилителя имеют целый ряд составляющих, такие как наводки, фон, тепловые шумы, шумы усилительных элементов и пр. Наводки и фон можно снизить практически до любого приемлемого уровня за счет экранирования усилителя, введения в цепи питания развязывающих фильтров, применения контуров отрицательных обратных связей (ООС). Однако напряжения шумов усилительных элементов, как и напряжения тепловых шумов, нельзя снизить до любой величины. Их можно лишь уменьшить, если правильно выбрать типы усилительных элементов и их режимы работы. Это в первую очередь касается первых усилительных каскадов и их входных цепей.

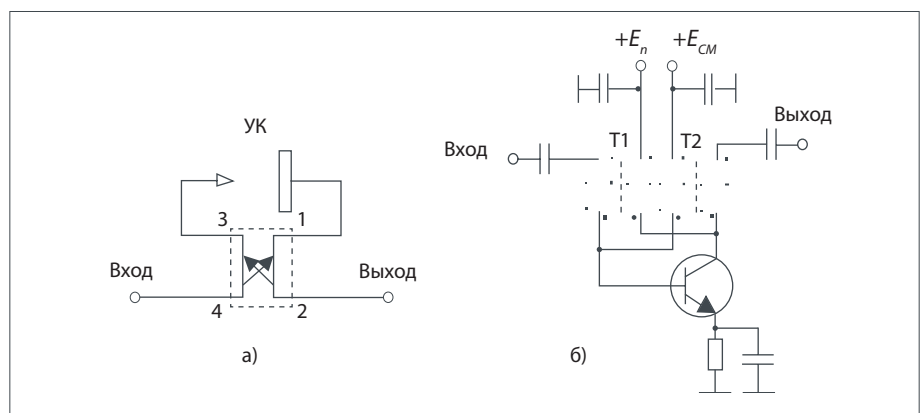
При проектировании используются специально разработанные малошумящие транзисторы СВЧ, у которых верхняя критическая частота превышает верхнюю границу

рабочего диапазона усилителя в несколько раз. Конкретный коэффициент шума будет зависеть от режима работы транзистора. Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что для кремниевых транзисторов наименьший коэффициент шума наблюдается при токе коллектора I_{к0} = 1,5 мА и напряжении между коллектором и эмиттером U_{кэ0} = 1,53 В (то есть при очень малых величинах). У мало мощных полевых транзисторов коэффициент шума от режима его работы зависит меньше. Коэффициент шума транзистора также зависит от внутреннего сопротивления источника сигнала. Можно показать [1], что оптимальное сопротивление источника убывает обратно пропорционально частоте.

При выборе оптимальной рабочей точки по минимуму коэффициента шума возникает проблема перегрузки каскада из-за низких значений I_{к0} и U_{кэ0}. Повышение же перегрузочной способности каскада требует увеличения I_{к0} и U_{кэ0} и введения глубоких отрицательных обратных связей (ООС). Вместе с тем, присутствующие в цепи ООС элементы с тепловыми потерями, например, резисторы, могут увеличивать внутренние шумы усилителя. Разрешить это противоречие позволяет применение специальной бесшумной ООС на основе трансформаторной связи. На рис. 2а представлена структурная схема усилителя с бесшумной ООС, которая вводится с помощью направленного ответвителя НО [2].

Схема содержит инвертирующий усилительный каскад УК, с выхода которого мощность через НО поступает на выход схемы. Часть мощности выходного сигнала через вход 3 (вход 3 по отношению к входу 1 является отводом) поступает на вход усилительного каскада. Входной сигнал подается на вход 4 НО. Основная мощность входного сигнала поступает на выход УК, а часть проходит непосредственно на выход схемы через вход 2. Благодаря такому соединению достигается согласование схемы по входу и выходу. На рис. 2, б показан пример реализации описанной схемы с помощью НО на широкополосных трансформаторах Т1 и Т2.

Рис. 2. Схемы усилителей каскадов с бесшумной линейной ООС: а) структурная; б) принципиальная



Такая схема реализована, например, в оптических приемниках серии МХО900 и хорошо себя зарекомендовала.

На сегодняшний день большинство крупных производителей оборудования для кабельного телевидения используют специализированные интегральные микросхемы трансимпедансных усилителей, которые обеспечивают все необходимые требования: высокое входное сопротивление (не требуется широкополосный трансформатор), низкий уровень шумов, высокую линейность (двухтактная схемотехника), а зачастую еще и возможность электронного регулирования коэффициента усиления, что немаловажно для организации АРУ. Среди производителей таких микросхем — Anaigics, NEC, MAXIM, Triquint, Analog Devices и др.

Использование готовой элементной базы позволяет быстрее реагировать на требования рынка, не тратя кучу времени на кропотливую отработку схемы на дискретных элементах, улучшает массогабаритные показатели, при правильном использовании улучшает стабильность и повторяемость параметров. Хотя в интегральных усилителях разработчикам тоже есть где развернуться. Например, можно изменить режимы питания, оптимизировав тем самым работу усилителя под конкретную задачу (оптимизация по шумам или получение высокого

максимального выходного уровня). Можно постараться максимально грамотно построить схемы согласования фотодиода и входа микросхемы — без внесения потерь, которые впрямую ухудшают шумовые характеристики. Кроме того, можно использовать более качественные элементы внешней обвязки микросхем, чем те, которые приведены в справочных данных.

К минусам применения интегральных усилителей можно отнести большую стоимость комплектующих, повышение требований к технологии монтажа, повышение стоимости ремонта и увеличение срока поставки. И еще одно: куда девать образующиеся неликвиды дорогостоящей специализированной микросхемы в случае прекращения производства? Из нее сложнее сделать «что-то еще», чем из дискретных компонентов.

3. Атенюатор и эквалайзер. В настоящее время широко распространены электронные регуляторы, без них не обойтись в приемниках, оснащенных системой АРУ и удаленного мониторинга. В простейшем варианте с функциями вполне справляются ручные регуляторы уровня и наклона, дешево и надежно, просто надо аккуратно выбирать китайского поставщика компонентов.

4. Выходной усилитель. На сегодняшний день момент используется три подхода к конструированию этого узла: на дискретных элемен-

тах, на специализированных микросхемах или на гибридных модулях. Каждый подход имеет свои плюсы и минусы.

Плюсы гибридных модулей: выходной уровень на любой вкус, удобный монтаж и отличная ремонтпригодность (вынул-вставил), универсальность и возможность апгрейда. Минусы: большая потребляемая мощность и не всегда удобное питание (в большинстве случаев 24 В), высокая цена (если не махровый Китай).

Микросхемы обеспечивают еще более широкий выбор по параметрам, но в то же время предъявляют высокие требования к монтажу, характеризуются сложностями организации теплоотвода и демонтажа при ремонте и, кроме того, тоже недешевы.

Дискретные элементы — раздолье для разработчиков, если таковые в компании имеются. Кадры — основная проблема на сегодняшний день, они, как обычно, решают все, но где их взять?

Для конечного потребителя использование микросхем и модулей — несомненный плюс при выборе оборудования. Ознакомившись с характеристиками компонентов на официальном сайте их производителя, можно с большой долей вероятности судить о заявленных выходных характеристиках оборудования. К примеру, заявленный



GIBERTINI GIBERTINI SRL
VIA F. SANTI, 21
20037 PADERNO DUGNANO
(MILANO) ITALIA

Основанная в 80-х годах прошлого века, итальянская фирма Gibertini на сегодняшний день является признанным источником антенн высшего качества (в т.ч. малых диаметров) для профессионального применения



КОРПОРАЦИЯ ЛАНС

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
(812) 327 1347, 369 0370, 369 6360
<http://www.LANS.spb.ru>

МОСКВА
(495) 677 1904, 677 1905, 677 1906
<http://www.SPM-group.ru>

ЕКАТЕРИНБУРГ
(343) 264 8744, 264 8745
КРАСНОЯРСК
(391) 265 7434

НИЖНИЙ НОВГОРОД
(831) 438 4339, 465 8094
НОВОСИБИРСК
(383) 265 8182

ОМСК
(381) 228 8303
РОСТОВ-НА-ДОНУ
(863) 236 0066, 438 3829

СОЧИ
(8622) 68 2443
ТОМЬ
(3452) 45 5513, 45 7450

УФА
(347) 274 7339, 274 8715
ЧЕЛЯБИНСК
(351) 264 2037

выходной уровень приемника никак не может равняться заявленным выходным параметрам на используемый усилительный модуль, а уж тем более превышать его. Это обусловлено тем, что стандартная схема включения предусматривает наличие в радиочастотном тракте после модуля таких необходимых узлов, как направленный ответвитель контрольного отвода и/или системы АРУ, устройства защиты выходного каскада (ограничитель на рпн-диодах, ФВЧ и разрядник), а также элементы согласования и, обычно, устройство деления мощности. Итого набегает потеря 1...2 дБ. Следовательно, выходной уровень устройства должен быть ниже заявленного на усилительный элемент как минимум на эту величину.

5. Блок питания.

Обычно питание осуществляется от сети 220 В, редко используется дистанционное питание по линии через выход приемника. Комбинированное питание с автоматическим переключением с сетевого на дистанционное тоже востребовано. Часто комбинированный блок включают нестандартно, в комплексе с внешним бесперебойным 24 В блоком питания. Довольно дорогостоящий вариант.

Новинка, предлагаемая на рынке «Планным» в этом году — бесперебойный блок питания с необходимыми функциями заряда,

защиты от глубокого разряда, мониторингом состояния батареи и т.д. стоимостью, значительно отличающийся от сетевого БП.

Полезная формула № 2

Расчет выходного напряжения оптического приемника:

$$V_{out(peak)} = Resp \times P_i(opt) \times m.$$

Зададим следующие параметрами:

Значение чувствительности Resp — 950 А/Вт.

Значение индекса модуляции m — 4,5%

Значение оптической входной мощности $P_i(opt)$ — 3 дБмВт.

В этом случае пиковое выходное напряжение составит:

$$V_{out(peak)} = 85,29746 \text{ мВ.}$$

Найдем среднее значение выходного напряжения по формуле:

$$V_{out(average)} = \frac{V_{out(peak)}}{\sqrt{2}};$$

$V_{out(average)} = 60,3 \text{ мВ.}$

Выразим в дБмВ:

$V_{out(dBmV)} = 35,6 \text{ дБмВ.}$

Выразим в дБмкВ:

$V_{out(dB\mu V)} = 74,1 \text{ дБмкВ.}$

Очевидный вывод из этой формулы заключается в том, что каждое изменение входной оптической мощности влечет за собой двукратное изменение выходного уровня. Кроме того, формула позволяет оценить физические пределы уровня С/Ш на выходе в зависимости от фоточувствительности диода и параметров входного сигнала. Или же, напротив, определить минимальные требования к сигналу на входе для получения заданного С/Ш на выходе.

Например, можно вычислить, что при чувствительности фотодиода 950 А/Вт (1550 нм) и индексе модуляции 4,5% (42 канала) при передаче аналоговых каналов физическим пределом для получения абонентом отличного сигнала (С/Ш = 46 дБ) является входная оптическая мощность, равная -10 дБмВт.

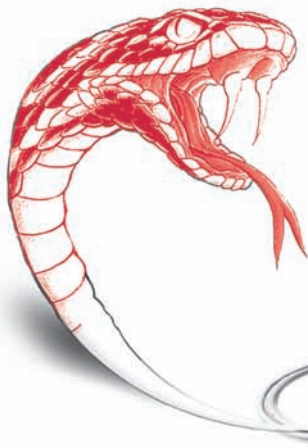
Во второй части материала речь пойдет о тех блоках, которые делают оптические приемники дороже, а жизнь кабельного оператора — осмысленнее и комфортнее. ■

Литература:

1. S. Berkoff, F. Baylin. Wireless Cable and SMATV. Published by Baylin Publications, 1992.

2. Б.М. Богданович. Радиоэлектронные устройства с большим динамическим диапазоном. — М.: Радио и связь, 1984. — 177 с.

А ВЫ УВЕРЕНЫ В БЕЗОПАСНОСТИ СВОЕГО КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ ?



9 из 10 ДЕШЕВЫХ КАБЕЛЕЙ НЕСУТ В СЕБЕ СМЕРТЕЛЬНО ОПАСНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СВИНЦА И ДР. ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.

ITALIANA CONDUTTORI s.r.l. (CAVEL) гарантирует полную экологическую безопасность своих кабелей в точном соответствии с европейской директивой RoHS, которая запрещает использование в производстве таких опасных веществ как свинец, ртуть, кадмий, шестивалентный хром и др.



RoHS Compliant



Made in Italy



КОРПОРАЦИЯ ЛАНС

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
(812) 327 1347, 369 0370, 369 6360
<http://www.LANS.spb.ru>

МОСКВА
(495) 677 1904, 677 1905, 677 1906
<http://www.SPM-group.ru>

ЕКАТЕРИНБУРГ
(343) 264 8744, 264 8745
КРАСНОЯРСК
(391) 265 7434

НИЖНИЙ НОВГОРОД
(831) 438 4395, 465 8094
НОВОСИБИРСК
(383) 265 8182

ОМСК
(381) 228 8303
РОСТОВ-НА-ДОНУ
(863) 236 0066, 438 3829

СОЧИ
(8622) 169 2443
ТОМЬ
(3452) 45 5513, 45 7450

УФА
(3471) 274 7339, 274 8715
ЧЕЛЯБИНСК
(351) 264 2037