

# СВЕЖИЙ ВЗГЛЯД НА ПРИВЫЧНЫЕ ВЕЩИ

Кабель Radiolab  
с центральным проводником  
из биметалла



**radiolab**<sup>®</sup>

## Применение кабелей с проводниками из омедненного алюминия в радиотрактах СВЧ диапазона

При построении различных систем связи (особенно в диапазоне 150 – 9000 МГц) зачастую появляется необходимость в использовании достаточно протяженного тракта передачи сигнала к антенне (десятки метров). Это продиктовано необходимостью разместить дорогостоящее приемо-передающее оборудование в более защищенных (от сложных климатических условий, вандализма) и доступных для регламентного обслуживания местах, как правило внутри теплого контура зданий (верхние этажи, чердачные помещения). К тому же, таких устройств, рассчитанных на разнесение активного приемо-передающего блока и антенны, будь то УКВ радиостанции или Wi-Fi точки доступа, подавляющее большинство на рынке.

Чтобы обеспечить приемлемо низкий уровень потерь сигнала в тракте на этих частотах, приходится использовать достаточно габаритные гибкие медные кабели (как правило, не менее 10-13.5 мм, такие как 8D-FB, 10D-FB, Belden 9913 и пр.).

В условиях постоянно растущих цен на медь стоимость такого тракта подчас сопоставима со стоимостью активного оборудования. В результате постоянно появляются на свет все более “новые” технологии и недорогие устройства и гаджеты, как правило, сочетающие в одном пластмассовом корпусе и антенну, и активный блок (например, точки доступа Wi-Fi). Конечно, такие комбинированные устройства совершенно оправданы с точки зрения минимизации потерь сигнала в антенном тракте (антенна, по сути, стоит непосредственно на выходе передатчика или входе приемника), но надо брать в расчет, что такая пластиковая коробочка, особенно в наших широтах, не выдерживает никакой критики и начинает протекать, замерзать и, в общем-то, долго не живет. В результате, как всегда, кто-то здорово зарабатывает на этой экономии, а кто-то (как правило, конечный пользователь) здорово проигрывает в качестве предоставляемых услуг связи.

Конечно, существует множество качественных комбинированных устройств, но это совсем другие устройства, у которых один только климатически защищенный корпус с системой термостатирования сопоставим по стоимости с передающим медным кабельным трактом, а то и существенно дороже. Иными словами - это достаточно дорогие устройства, а ведь опять-же – вандализм, кражи, неудобство обслуживания и т.д.

В последние годы на волнах, как сейчас говорят, волатильности и роста цен на медь наблюдается повышение интереса к коаксиальным кабелям, использующим проводники из омедненного алюминия (Copper Clad Aluminium — далее ССА) и обладающим существенно меньшей стоимостью, чем их медные аналоги. Традиционно российские компании (это наш опыт на протяжении 15 лет) предпочитают именно медные коаксиальные кабели. В этом есть оправданная доля конформизма, но если посмотреть иначе? Ведь давно известно, что очень распространённые в мире кабели, например LMR-400, используют именно омедненную центральную жилу (диаметр 2.74 мм). Есть ли в этом безопасный путь к разумной экономии средств и не отразится ли такая экономия на характеристиках системы в целом?

Существует много народных мифов о том, что омедненный алюминий – это «не есть гуд». «Народный гнев», в основном, звучит на форумах и в технических сообществах, занятых построением спутникового и кабельного ТВ, где кабельный калибр не превышает 6 мм и профессионалы предпочитают медь.

Да, здесь все логично, потому что, во-первых, практически никакой значительной экономии при использовании ССА проводников в тонких кабелях не наблюдается, т.к. тонкие ССА и медные кабели по себестоимости приблизительно равны (разница в 5-10%). Экономия в данном случае только у тех, кто работает на больших объемах товара и завозит или производит этот кабель “вагонами” и в особенности для 75-омных кабелей с омедненными стальными проводниками (Copper Clad Steel – CCS). Для нашего случая реальная экономия по себестоимости наступает для относительно крупных кабелей, где действительно много меди.

Итак, попробуем взвесить все “за” и “против” для интересующей нас группы 50-омных кабелей диаметром 10-14 мм в диапазоне частот 150 – 9000 МГц.

## Экономические предпосылки

Цена ССА проводника, так же, как и медного, зависит от массы. Проводник из омедненного алюминия из-за сложности изготовления стоит существенно дороже, чем медный эквивалентной массы. Но длина ССА провода при этом больше, чем медного (соотношение по длине 2,5:1).

Поскольку цена на кабель зависит от его длины, то цены на кабель с центральным проводником из омедненного алюминия в среднем на 20 – 25 % ниже, чем цены на кабель с медным проводником. Более того цены на кабели, полностью изготовленные из ССА проводников в среднем на 50% меньше, чем на аналогичные медные. ССА проводник менее подвержен колебанию цен на медь, т.к. меди там существенно меньше (10-15 объемных %).

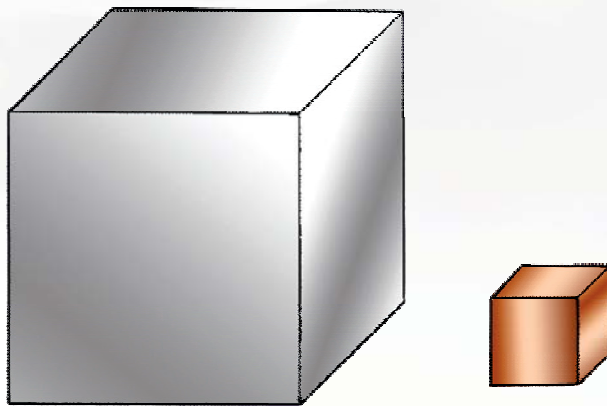


Рис. 1 Соотношение объемов меди и алюминия при одинаковой массе.

## Механические свойства

Медный проводник прочнее, чем ССА, медь также обладает большим коэффициентом удлинения, т.е. механические свойства меди лучше (см. табл. 1).

Однако, с точки зрения механических нагрузок на кабель, эти преимущества не столь существенны, т.к. кабели уже давно не выполняют роль несущего элемента конструкции. К тому же, масса кабеля с ССА проводником существенно меньше, чем медного, что ощутимо облегчает транспортировку и подъем кабеля при его установке. Кроме того ССА мягче, чем медь, и поэтому кабели с проводниками из омедненного алюминия более пластичны и удобны для прокладки.

Таблица 1		5% ССА	10% ССА	15% ССА	Медь
относительная площадь поперечного сечения меди	%	5	10	15	100
относительная площадь поперечного сечения алюминия	%	95	90	85	0
проводимость по отношению к меди	%	64	66	68	100
плотность	г/см <sup>3</sup>	3,01	3,32	3,63	8,89
коэффициент расширения	%	26	28	30	38
прочность на растяжение	Н	86	94	102	235
при равных сопротивлениях	вес	51 %	53 %	56 %	100 %
	диаметр	125 %	123 %	122 %	100 %
	сечение	156 %	152%	148 %	100 %
при равных диаметрах	вес / длина	34 %	37 %	41 %	100 %

## Электрические свойства

Электропроводность алюминия хуже, чем меди. Поэтому ССА имеет более высокое сопротивление по постоянному току, чем медь. Об этом надо помнить, если планируется использовать кабель с ССА-проводниками для подачи питания, например, для мощного усилителя. Т.к. при высоком уровне мощности возможна ситуация, когда оборудование работает во внештатном режиме. Однако, и в данном случае, при малом энергопотреблении (от единиц до десятков Вт) никаких проблем не возникнет.

Что же касается передачи ВЧ сигнала, то на частотах выше 5 МГц благодаря скин-эффекту, нет существенной разницы в сопротивлении переменному току или затухании между двумя видами проводников – ССА и медным.

При увеличении частоты электрического тока носители заряда концентрируются в поверхностном слое проводника. Когда частота увеличивается до 5 МГц толщина скин-слоя составляет примерно 0,025 мм. Толщина медного слоя в ССА обычно не менее 0,05 мм (у кабелей 8D-FB ССА и 10D-FB ССА, предоставленных компанией Radiolab, толщина меди в центральном проводнике не менее 0,12 мм). Таким образом, на частотах выше 5 МГц в ССА проводнике весь ток течет в поверхностном медном слое. И поскольку радиочастотные коаксиальные кабели используются для передачи сигналов, как правило, на частотах выше 5 МГц, то по своим электрическим характеристикам они практически эквивалентны кабелям с медным проводником (см. рис. 2).

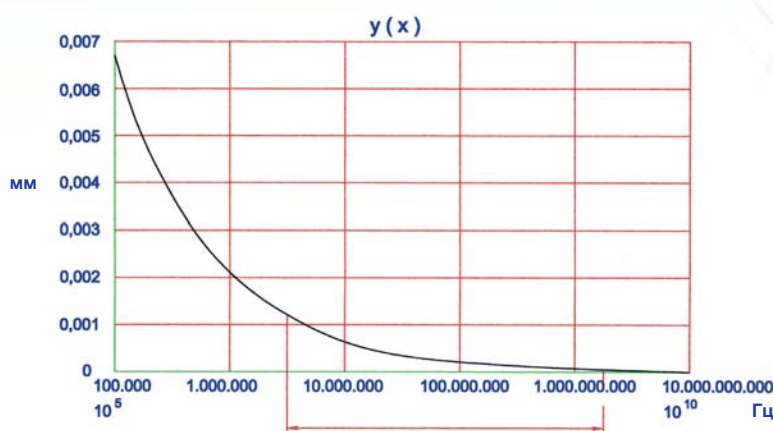


Рис. 2 Частотная зависимость толщины скин-слоя

Так же следует упомянуть об обратных потерях. Этот электрический параметр имеет прямую связь с однородностью диаметра внутреннего проводника. В процессе изготовления проводников основной технологический прием – волочение. В процессе волочения пластичный ССА проводник калибруется значительно точнее, чем медный. Это в некоторой степени объясняет, почему неравномерность КСВ в кабелях с ССА проводником зачастую меньше, чем в кабелях с медным проводником.

## Механическая обработка кабеля при заделке в разъем

Следует соблюдать ряд несложных правил при установке радиочастотных соединителей. Так, при удалении части диэлектрика с центрального ССА проводника надо обращать внимание на то, чтобы грубым нажатием режущего инструмента не был поврежден (прорезан) медный слой. Хотя, в кабелях нашей группы (с толщиной медного слоя около 0.12 мм) это еще надо умудриться сделать.

В кабелях, использующих ССА проводники и во внешней оплетке, при неаккуратном снятии оболочки кабеля неизбежно возникают разрушения ССА проводников оплетки. Поэтому, в таких полностью алюмо-медных кабелях нежелательно использовать обычные прижимные разъемы, где оплетка подвергается перегибу поверх прижимной втулки, т.к. часть перерезанных жилок просто вывалются и ослабят прочность заделки кабеля в разъем. Конечно же, данный сюжет при аккуратной разделке кабеля не так вероятен, но следует учитывать все факторы. Поэтому для устранения данной проблемы компания Radiolab разработала и производит специализированные соединители серии PerfectMatch (N-типа), где оплетка из ССА вообще не подвержена никакому механическому риску. К тому же, предлагаемые разъемы работают стабильно до 9 ГГц (КСВн не более 1.25), т.е. применимы практически для всех частотных областей использования данного вида кабелей.

Такой разъем обойдется на несколько долларов дороже чем обычный, но с учетом экономии 50% средств на покупку 10-100 м кабеля, согласитесь, это не так болезненно.

Пайка центральных проводников из омедненного алюминия проходит вообще без каких-либо проблем, т.к. проводники имеют достаточно толстый слой меди и процесс пайки полностью идентичен пайке медных проводников. Даже удобнее, т.к. толстая центральная ССА жила (2.6-3.5 мм) отводит тепло от места пайки несколько хуже, чем медная и запайка центрального контакта (пина) разъема происходит быстрее, соответственно и перегрев и оплавление вспененного диэлектрика кабеля также меньше.

## Гальваническая коррозия биметаллических проводников

Потенциальные покупатели кабельной продукции из плакированных (покрытых) медью алюминиевого или стального проводов, в качестве одной из проблем, считают эффект коррозии изделий из разнородных металлов.

Рассмотрим условия возникновения биметаллической коррозии — наличие неоднородных по электрохимическому потенциалу металлов (см. таблицу 2) в присутствии электролита и разницы электрических потенциалов (далее по тексту - ЭП) сложившаяся между ними. Один металл становится *Катодом*, другой — *Анодом*. На аноде возникают следы коррозии, а катод, в основном, остается целым.

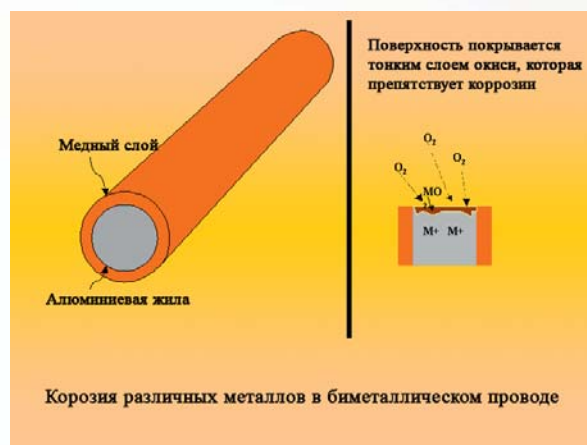
Таблица 2. Электрохимический потенциал (в Вольтах) различных металлов

Алюминий	Титан	Цинк	Хром	Железо	Олово	Медь	Серебро	Золото
-1.66	-0.95	-0.76	-0.74	-0.41	-0.14	+0.34	+0.80	+1.50

Ключевой и наиболее важный момент в данном случае — присутствие электролита. Между металлами, скрепленными между собой механически, остаются микро промежутки между поверхностями, где дождевая вода и растворенные в ней минеральные соли могут образовать электролит. Это приводит к возникновению электродвижущей силы электрохимической коррозии. В нашем случае алюминий или сталь имеют меньший электрохимический потенциал чем медь и корродируют.

В случае плакирования медью алюминия или стали, медь - анод (имеющая больший ЭП чем катод) полностью охватывает всю окружность с возникновением эффекта «приклеивания» к основному материалу (имеющему меньший ЭП чем анод).

Металлурги - производители гарантируют, что в результате плакирования отсутствуют промежутки между разнородными металлами. Поэтому, электролиз образуется только на срезанном конце кабеля при контакте с электролитом. Коррозии стального или алюминиевого сердечника требуется перенос кислорода к поверхности анода для возникновения реакции (см. рис. 3).



Эта реакция продолжается до тех пор, пока общая поверхность не покроется тонким слоем окиси, и как только она сформируется, полностью препятствует дальнейшему переносу и коррозии.

Однозначный вывод из выше изложенного — эффект гальванической коррозии не является проблемой при использовании биметаллических кабелей. Следует отметить, что с начала 20 века плакированная медью сталь применяется для открытых телефонных линий, линий электропередач, устройств заземления и т.д.

Биметаллы являются отличным выбором для применения во многих сферах, где требуется сопротивление как у меди и наименьший вес. Применение рассматриваемых в данной статье кабелей следует рассматривать без учета эффекта гальванической коррозии.

## Выводы

Кабели ВЧ диапазона с внешним диаметром 10-14 мм из омедненного алюминия обладают меньшей массой на единицу длины, большей пластичностью и более привлекательной ценой. При этом абсолютно не уступая медным кабелям по характеристикам передачи ВЧ энергии.

В то же время, проектируя устройства большой излучаемой мощности рассматриваемого диапазона, необходимо учитывать более высокое сопротивление по постоянному току.

Для кабелей, имеющих только центральную жилу из омедненного алюминия (ССА), применение специализированных разъёмов не требуется.

Для получения максимально положительного результата использования полностью алюмо-медных кабелей (ССА/ТССА) рекомендуется использование специализированных разъёмов серии *PerfectMatch* компании Radiolab.

Принимая во внимание вышеизложенное, компания Радиолэб предлагает следующие модели кабелей:

С омедненной алюминиевой центральной жилой и медной луженой оплеткой (**CCA**):

Тип	Центральный проводник		Диэлектрик		Экран			Оболочка	
	Но./мм	мат-л	мм	мат-л	I	II	мат-л	мм	мат-л
<b>10D-FB CCA</b>	3.5	CCA	9.7	FPE	DF	90%	TC	13.1	PVC
<b>DX-1000 CCA Lite</b>	1x2.6	CCA	7.11	FPE	DF	95%	TC	10.3	PE
<b>DX-1000 CCA</b>	2.6	CCA	7.11	FPE	DF	49%	TC	10.3	PVC
<b>DX-400 CCA</b>	2.74	CCA	7.24	FPE	DF	60%	TC	10.29	PVC

С омедненной центральной жилой и луженой омедненной алюминиевой оплеткой (**CCA/TCCA**):

Тип	Центральный проводник		Диэлектрик		Экран			Оболочка	
	Но./мм	мат-л	мм	мат-л	I	II	мат-л	мм	мат-л
<b>10D-FB CCA/TCCA</b>	3.5	CCA	9.7	FPE	DF	95%	TCCA	13.1	PVC
<b>8D-FB CCA/TCCA</b>	2.6	CCA	7.5	FPE	DF	93%	TCCA	11.1	PVC
<b>5D-FB CCA/TCCA</b>	1.8	CCA	5.0	FPE	DF	93%	TCCA	7.5	PVC