

SMA-адаптеры быстрого подключения сохраняют приборные соединители изделий СВЧ

К. Джуринский, к. т. н.¹

УДК 621.389 | ВАК 05.27.01

Показана перспективность применения зарубежных SMA-адаптеров быстрого подключения для решения проблемы совместимости отечественных радиочастотных соединителей с зарубежной радиоизмерительной аппаратурой в диапазоне частот 0–18 и 0–26 ГГц. Приведены параметры этих адаптеров, выпускаемых компаниями США, Европы и Юго-Восточной Азии.

В отечественных изделиях СВЧ наиболее широко применяют радиочастотные соединители вилки и розетки тип IX, варианты 1 и 3 ГОСТ РВ 51914-2002. Эти соединители являются аналогами зарубежных соединителей SMA. Вилки и розетки сочленяют между собой резьбовым соединением, которое считается наиболее надежным.

Основное различие между отечественными и зарубежными аналогами – это вид резьбы на корпусе соединителя. В соединителях по ГОСТ РВ 51914-2002 на корпусе метрическая резьба М6×0,75, а в соединителях SMA – американская дюймовая резьба 1/4-36UNS-2A. Наружный диаметр метрической резьбы М6×0,75 равен 6 мм, а дюймовой резьбы – менее 6,35 мм (обычно 6,2 мм), поэтому метрический соединитель вилка невозможно накрутить на дюймовый соединитель розетка. Но дюймовый соединитель SMA-вилка, при желании, можно соединить с отечественным аналогом розетка, хотя шаг метрической и дюймовой резьбы различен: соответственно 0,75 и 0,706 мм. Несмотря на это различие, заклинивание резьбы не происходит, если ее длина менее 3–4 витков [1]. Однако при таком соединении не гарантируется надежный электрический контакт внутренних проводников, и может произойти их механическое повреждение.

Несоответствие видов резьбы отечественных и зарубежных соединителей является главной причиной обязательного применения адаптеров при измерении параметров отечественных изделий на зарубежной радиоизмерительной аппаратуре.

О ПОВРЕЖДЕНИИ ВЫХОДНЫХ ПРИБОРНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ СВЧ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ

Одной из наиболее распространенных причин выхода из строя отечественных изделий СВЧ является повреждение их выходных соединителей при измерениях электрических параметров изделий. Замена поврежденного соединителя в модуле СВЧ, расположенном зачастую в неудобном месте сложного многомодульного блока, – трудоемкая, дорогостоящая операция, предполагающая разборку блока, извлечение неисправного модуля, его разгерметизацию, замену соединителя, повторный монтаж и установку модуля в блок. При этом необходимы дополнительные испытания и измерения параметров модуля и всего блока. Кроме того, замена соединителя часто предполагает нагрев всего электронного блока до температуры плавления припоя (260–300 °С). Такой нагрев может приводить к деградации отдельных электронных компонентов.

В процессе настройки и испытаний приходится десятки раз производить соединение и разъединение выходных соединителей изделий СВЧ с портами измерительных устройств. Хотя в настоящее время АО «НПФ «Микран», ООО «Планар» и некоторые другие отечественные организации уже наладили выпуск многих видов радиоизмерительной аппаратуры (векторных анализаторов цепей, анализаторов спектра и др.) с зарубежными и отечественными выходными соединителями, однако большинство предприятий электронной техники оснащено зарубежной измерительной аппаратурой.

Кардинальное решение проблемы совместимости аналогичных отечественных и зарубежных

¹ АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина», kbd.istok@mail.ru.

соединителей возможно только применением соответствующих адаптеров с метрической резьбой на входе для установки в отечественное изделие и с дюймовой резьбой на выходе для соединения с зарубежной измерительной аппаратурой. Адаптеры также позволяют устранить износ и повреждение выходных соединителей изделий СВЧ в результате многократных соединений и рассоединений в процессе настройки и измерений параметров изделий. Поэтому неслучайно в зарубежной технической литературе адаптер называют «хранителем соединителей» (connector saver).

СТАНДАРТНЫЕ АДАПТЕРЫ

В нашей стране коаксиальные адаптеры (переходы, переходники) вилка-вилка, розетка-розетка и розетка-вилка приборного класса выпускают предприятия г. Томска: АО «НПФ «Микран» и ООО «НПК «Таир» [2–4]. Метрическая часть адаптеров соответствует типу IX, вариант 3 (ГОСТ РВ 51914-2002) для соединения с выходными приборными соединителями изделий СВЧ. Дюймовая часть адаптеров выполнена с резьбой 1/4-36UNS-2A для соединения с зарубежной радиоизмерительной аппаратурой. Переходы ООО «НПК «Таир» показаны на рис. 1 [5].

Поскольку переходы имеют достаточно высокий уровень параметров СВЧ, их использование не приводит к занижению характеристик измеряемых изделий. Кроме того переходы длительное время могут предохранять порты измерительных устройств, имеющих высокую стоимость. Назначение приборных переходов и переходов измерительного класса:

- соединение радиотехнических изделий и кабелей;
- в качестве защитных устройств. Во время измерений переходы подключают к портам измерительной аппаратуры и к выходным соединителям измеряемых изделий СВЧ и предохраняют входы-выходы от повреждений, продлевая срок службы этих изделий.

Однако стандартные адаптеры имеют некоторые недостатки, обусловленные применением резьбового соединения:

- соединение адаптеров с измеряемым изделием и с измерительной аппаратурой требует определенного времени;
- для выполнения соединения необходимо применение тарированного ключа с заданным моментом закручивания;
- выполнение резьбового соединения требует пространства, которое сложно найти в блоках с плотной компоновкой компонентов.

Для устранения этих недостатков многие зарубежные компании разработали адаптеры SMA-вилка быстрого подключения (Quick mate adapter, Quick connect adapter).



Рис. 1. Переходы ООО «НПК «Таир»

АДАПТЕРЫ SMA БЫСТРОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ

В конструкцию адаптера быстрого подключения заложена простая идея: вместо резьбового соединения наружных проводников соединителей применено соединение защелкиванием (Push-On, Snap-On, Slide-On). Для этого наружный проводник вилки адаптера был изготовлен с упругими ламелями из термоупрочненной бериллиевой бронзы. Эти ламели входят в область соединения вилки с розеткой измеряемого соединителя и, распружиниваясь в ней, создают надежный электрический контакт. Поэтому эти адаптеры иногда называют еще «нажимными».

В адаптере быстрого подключения на одном конце выполнен стандартный соединитель SMA-розетка, на другом конце – безрезьбовой защелкиваемый соединитель SMA-вилка. Стандартный соединитель адаптера предназначен для сочленения с портом измерительной аппаратуры. Для защелкиваемого соединителя совершенно неважно, дюймовая или метрическая резьба на корпусе сочленяемого с ним измеряемого соединителя розетка. Адаптеры не требуют тарированного ключа при соединении, что особенно важно в тех случаях, когда ограниченное пространство затрудняет или делает невозможным затягивание и закручивание соединительной гайки.

Адаптеры SMA быстрого подключения предназначены для широкого спектра радиочастотных применений: тестирование радиочастотных антенн, проведение измерений параметров СВЧ-устройств с разными приборными соединителями, оперативное соединение коаксиальных кабелей.

АДАПТЕРЫ БЫСТРОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ КОМПАНИЙ

Spectrum Elektrotechnik (Германия)

Начиная с 1997 года эта компания выпускает серию адаптеров **Push-on-RF & Microwave** различного конструктивного исполнения с соединением защелкиванием без блокировки (Push-On, Non-Locking) (табл. 1) [6].

Таблица 1. Адаптеры быстрого подключения компании Spectrum Elektrotechnik

№ п. п.	Обозначение адаптеров, краткая характеристика, габаритные чертежи (размеры в мм)
1	8001-SM21-02, SMA-вилка Push-On – SMA-розетка с гайкой
2	8003-SM21-02, SMA-вилка Push-On – SMA-розетка без гайки
3	8005-SM21-02, SMA-вилка Push-On – SMA-розетка с накаткой на корпусе
4	8004-SM21-02, SMA-вилка Push-On – SMA-розетка с прямоугольным фланцем для крепления на панель

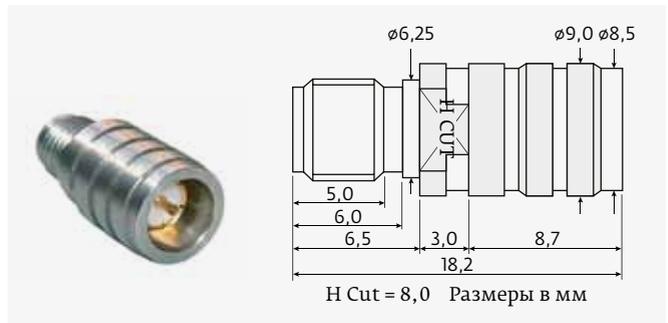


Рис. 2. Адаптер RTM-CSMAP-AD18

Адаптеры **Push-On** без блокировки, применяемые для кратковременных измерений, имеют следующие параметры:

- волновое сопротивление: 50 Ом;
- диапазон рабочих частот: 0–26,5 ГГц;
- максимальный КСВН в диапазоне частот 0–18 ГГц: 1,15; в диапазоне частот 18–26,5 ГГц: 1,2;
- величина прямых потерь в диапазоне частот 0–18 ГГц: 0,3 дБ;
- экранное затухание: –80 дБ на частоте 3 ГГц, –65 дБ на частоте 26,5 ГГц.

Корпуса адаптеров и гайки изготовлены из пассивированной нержавеющей стали. Внутренний и наружный проводники выполнены из бериллиевой бронзы. Толщина золотого покрытия внутреннего проводника – 1,27 мкм, наружного проводника – 0,8 мкм.

RF TEC Mfg. Inc. (США)

Внешний вид и габаритный чертеж адаптера **RTM-CSMAP-AD18** (Snap-on / Push-on SMA adapter, Thread Less SMA Plug) компании RF TEC Mfg. показаны на рис. 2 [7, 8].

Корпус адаптера изготовлен из пассивированной нержавеющей стали, внутренний и наружный коаксиальные проводники – из термоупрочненной бериллиевой бронзы, покрытой золотом, изолятор выполнен из фторопласта.

Адаптер **RTM-CSMAP-AD18** имеет следующие параметры:

- волновое сопротивление: 50 Ом;
- диапазон рабочих частот: 0–26,5 ГГц;
- максимальный КСВН в диапазоне частот 0–18 ГГц: 1,2; в диапазоне частот 18–26,5 ГГц: 1,3;
- максимальная величина прямых потерь в диапазоне частот 0–18 ГГц: 0,1 дБ;
- в диапазоне частот 18–26,5 ГГц: 0,2 дБ;
- допустимое количество соединений и разъединений: более 3 000.

American Radio Supply, LLC

Disconnect Push-On Coaxial Adapter **TPS-4656** компании American Radio Supply, LLC показан на рис. 3 [9].

Корпус адаптера изготовлен из латуни, внутренний и наружный проводники – из термоупрочненной

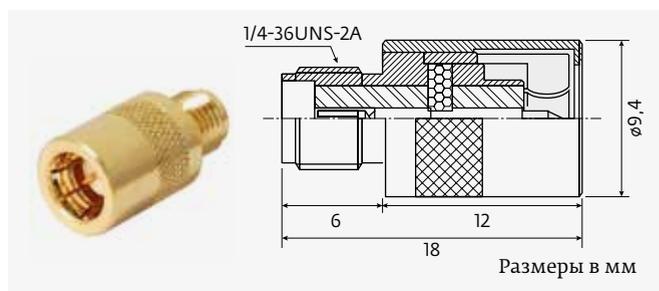


Рис. 3. Адаптер TPS-4656

бериллиевой бронзы, изолятор выполнен из фторопласта. Покрытие металлических поверхностей – золото.

Адаптер **TPS-4656** имеет следующие параметры:

- волновое сопротивление: 50 Ом;
- диапазон рабочих частот: 0–12 ГГц;
- максимальный КСВН в рабочем диапазоне частот: 1,2;
- рабочее напряжение: 500 В; напряжение пробоя изоляции: более 1000 В;
- сопротивление изоляции: 5000 МОм;
- допустимое количество соединений и разъединений: не менее 200.

Field Components (США)

Внешний вид и элементы конструкции адаптера **FC10MQ-FC10F-3** (SMA Male-Female Quick-Disconnect Plug to SMA Female Jack Adapter) компании Field Components показан на рис. 4 [10]. Корпус выполнен из нержавеющей стали и покрыт золотом.

Параметры адаптера: волновое сопротивление 50 Ом, диапазон рабочих частот 0–18 ГГц.



Рис. 4. Адаптер FC10MQ-FC10F-3



Рис. 5. Адаптер C3064

Centric RF (США)

Адаптер **C3064** (SMA Male Slide On to SMA Female Adapter) компании Centric RF показан на рис. 5 [11].

Этот адаптер имеет следующие параметры:

- волновое сопротивление: 50 Ом;
- диапазон рабочих частот: 0–18 ГГц;
- максимальный КСВН в диапазоне рабочих частот: 1,15;
- рабочий диапазон температур: –45...120 °С.

Корпус адаптера выполнен из нержавеющей стали и покрыт золотом. Внутренний и наружный проводники коаксиальной линии изготовлены из термоупрочненной бериллиевой бронзы и также покрыты золотом.

Juebao Co., Ltd. (Тайвань)

Тайваньская компания Juebao предлагает четыре модификации адаптеров **Snap on SMA plug to SMA jack** (табл. 2) [12].

Центральные проводники адаптеров выполнены из бериллиевой бронзы и покрыты золотом по подслою

Таблица 2. Адаптеры быстрого подключения компании Juebao

№ п. п.	Обозначение адаптеров. Краткая характеристика	Габаритные чертежи, размеры в мм
1	AD-AQ3A8. Предельная частота 13 ГГц, КСВН – 1,2. Корпус из латуни. Покрытие корпуса и проводников – золото толщиной 4 мкм поверх слоев меди и никеля	
2	ADSG-AQ3A8. Предельная частота 18 ГГц, КСВН – 1,2. Корпус из нержавеющей стали. Покрытие корпуса и проводников – золото толщиной 4–5 мкм поверх слоев меди и никеля	
4	ADSG-AQ3A8-P4. Предельная частота 18 ГГц, КСВН – 1,25. Материал корпуса адаптера – нержавеющая сталь. Покрытие – золото по подслою никеля и меди.	

химического никеля (сплав никель-фосфор) и меди. Материал изолятора – фторопласт.

Адаптеры компании **Jyebao** имеют следующие параметры:

- волновое сопротивление: 50 Ом;
- прямые потери: $\leq 0,04 \cdot \sqrt{f}$ (ГГц), дБ;
- рабочее напряжение (на уровне моря): 500 В, напряжение пробоя изоляции: 1500 В;
- сопротивление изоляции: более 5000 МОм;
- диапазон рабочих температур: $-65 \dots 165$ °С;
- допустимое количество соединений и разъединений: более 500 (резьбовое соединение) и более 20 000 (со стороны защелкивания).

Huber+Suhner (Швейцария)

В одноканальном адаптере **33_SMA-Q50-0-4/1-9_N** (SMA Quick-mate plug (male) / SMA jack (female)) этой компании применен быстроразъемный соединительный механизм, подключаемый без затягивания гайки (рис. 6) [13].

Корпус адаптера изготовлен из нержавеющей стали, внутренний и наружный коаксиальные проводники – из термоупрочненной бериллиевой бронзы с фирменным покрытием Susorgo этой компании. Susorgo – это 0,1–0,2 мкм золота по подслою химического никеля (никель + 10,5% фосфора) толщиной 2 мкм. Изолятор выполнен из полимеров PFA или PTFE. PFA (PerFluoroAlkoxy) – полукристаллический фторированный полимер имеющий химические и диэлектрические свойства, сходные с PTFE, но, в отличие от PTFE, его можно формовать из расплава методами экструзии и центробежного формования.

Адаптер **33_SMA-Q50-0-4/1-9_N** имеет следующие параметры:

- волновое сопротивление: 50 Ом;
- диапазон рабочих частот: 0–18 ГГц;
- типичная величина КСВН в диапазоне частот от 5,5 до 16 ГГц: 1,22;
- диапазон рабочих температур: $-65 \dots 165$ °С;
- допустимое количество соединений и разъединений: 500 (резьбовое соединение) и более 1000 (со стороны защелкивания);
- вес 4,4 г.

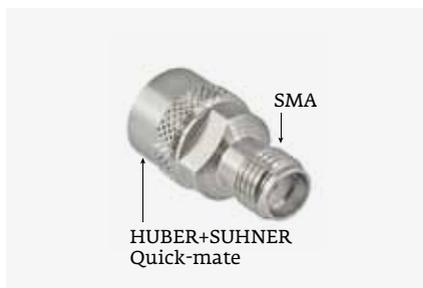


Рис. 6. Адаптер 33_SMA-Q50-0-4/1-9_N

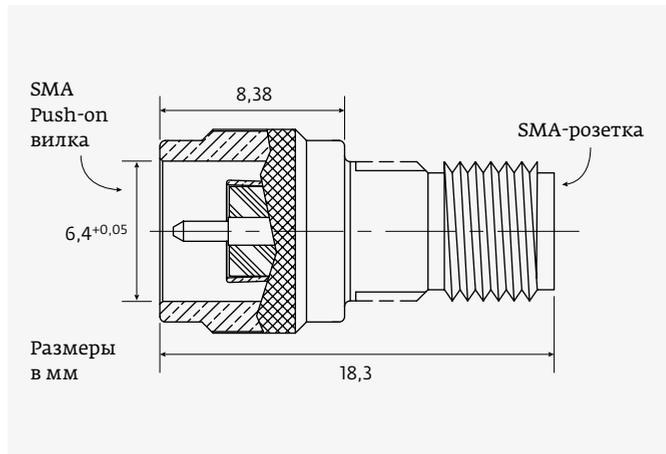


Рис. 7. Адаптер 1334000G000-006

Delta Electronics Mfg. Corp. (США)

Адаптер **1334000G000-006** этой компании (рис. 7) удачно подходит для тестирования устройств СВЧ, снижения износа соединителей, установленных на этих устройствах, и экономии времени на соединение и разъединение при измерении [14].

В адаптере применены латунный корпус, фторопластовый изолятор, внутренний и наружный проводники из бериллиевой бронзы. В конструкции наружного проводника вилки адаптера использованы внутренние упругие ламели, которые скользят внутри гладкой внутренней стенки розетки. Усилие соединения не превышает 4,5 кг, усилие разъединения – менее 3,7 кг. Это обеспечивает хороший электрический контакт и позволяет предотвратить отслоение покрытия с поверхности розетки. Диапазон рабочих частот 0–18 ГГц. Частотная зависимость КСВН адаптера приведена на рис. 8.

Pasternack Enterprises (США)

Адаптер **PE91336** (Push-On SMA Male to SMA Female Adapter) компании Pasternack Enterprises показан на рис. 9 [15]. Этот одноканальный адаптер стандартной полярности является одним из более чем 40 000 радиочастотных компонентов, выпускаемых этой компанией.

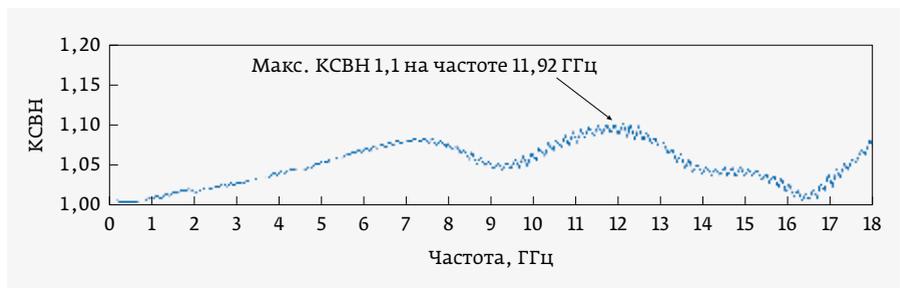


Рис. 8. Частотная зависимость КСВН адаптера 1334000G000-006



Рис. 9. Адаптер PE91336



Рис. 10. Адаптер R125791501

Параметры адаптера PE91336:

- диапазон частот: 0–18 ГГц;
- максимальный КСВН: 1,5;
- гарантированное количество соединений и разъединений: 500;
- габаритные размеры адаптера: 18,29 × 9,32 мм;
- вес: 4,54 г.

Radiall (Франция)

Адаптер быстрого подключения **R125791501** (Straight 50Ω RF Adapter SMA Plug to SMA Socket) компании Radiall показан на рис. 10.

Материал корпуса адаптера – пассивированная нержавеющая сталь. Внутренние коаксиальные проводники выполнены из бериллиевой бронзы и покрыты золотом толщиной 2,54 мкм по подслою никеля толщиной 2 мкм. Габаритные размеры адаптера: длина 24 мм, диаметр 8,9 мм [16].

Адаптер R125791501 имеет следующие параметры:

- волновое сопротивление: 50 Ом;
- диапазон рабочих частот: 0–18 ГГц;
- максимальный КСВН: $1,08 + 0,01f$ (ГГц);
- прямые потери: $0,07 \cdot \sqrt{f}$ (ГГц), дБ;
- рабочее напряжение: 500 В, напряжение пробоя изоляции: 1000 В;
- сопротивление изоляции: более 5000 МОм;
- диапазон рабочих температур: –65 ... 165 °С;
- допустимое количество соединений и разъединений: 500.

* * *

Адаптеры SMA быстрого подключения незаменимы при разработке и серийном производстве изделий СВЧ-техники с рабочим диапазоном частот 0–18 и 0–26,5 ГГц, так как обеспечивают сохраняемость выходных приборных соединителей при многократных измерениях параметров изделий. Кроме того, эти адаптеры обеспечивают быстрое и легко воспроизводимое соединение, не требуют для этого специального инструмента и позволяют выполнять измерения в труднодоступных местах с ограниченным пространством.

Применению зарубежных адаптеров SMA препятствует еще одно отличие отечественных и зарубежных соединителей – разные диаметры центрального штыревого проводника. У соединителя SMA-вилка этот диаметр равен $0,94_{-0,04}$ мм, а у отечественного соединителя вилка (тип IX, ГОСТ РВ 51914-2002) – $0,9_{-0,025}$ мм. Из-за такого, казалось бы, незначительного различия диаметров штыря отечественных и зарубежных соединителей соединение и разъединение зарубежной вилки с отечественной розеткой происходит с повышенным усилием. В результате этого истирается покрытие гнездового контакта розетки, возможно повреждение и даже поломка ламелей ее гнездового контакта [1].

Поэтому необходимо разработать и выпускать в нашей стране аналоги зарубежных соединителей SMA быстрого подключения в соответствии с отечественным стандартом на присоединительные размеры соединителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К., Сотников А.** О причинах повреждения радиочастотных соединителей и способах их предотвращения // СВЧ-электроника. 2020. № 2. С. 18–22.
2. **Джуринский К., Павлов С., Морозов О.** Отечественные радиочастотные соединители мм-диапазона длин волн // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. № 3 (00184) С. 154–168.
3. **Хорошилов Е., Павлов С.** СВЧ-переходы компании «Микран» // Современная электроника. 2018. № 7. С. 26–31.
4. Компоненты СВЧ-тракта НПК «ТАИР». <https://npktair.com>.
5. Переходы и соединители коаксиальные НПК «ТАИР». <https://docplayer.com>.
6. ush-on – RF & Microwave Adapters. www.spectrum-et.com.
7. www.hasco-inc.com.
8. RTM-CSMAP-AD18 – RF TEC Mfg. // Inc. Datasheets360.com. <https://www.datasheets360.com>.
9. SMA Male-Female Quick Disconnect Push-On Coaxial Adapter. <https://www.americanradiosupply.com>
10. SMA Male Quick-Disconnect Plug to SMA Female Jack. <https://www.fieldcomponents.com>.
11. C3064 SMA Male Slide On to SMA Female Adapter. www.CentricRF.com.
12. JYBAO RF & Microwave – Your best RF product provider! <https://www.jyebao.com.tw>.
13. Within Series Adaptor 33_SMA-Q50-0-4 / 1-9_N. www.hubersuhner.com.
14. SMA Push-on «Connector Saver». www.deltarf.com.
15. Push-On SMA Male to SMA Female Adapter PE91336. www.pasternack.com.
16. Radiall R125791501. Straight 50Ω RF Adapter SMA Plug to SMA Socket 18 GHz. <https://ie.rs-online.com>