

Оценка показателей надежности электронных средств с учетом многофакторного коэффициента качества производства

Майя АРТЮХОВА
sightblinder@mail.ru

Валерий ЖАДНОВ, к. т. н., профессор
vzhadnov@hse.ru

Сергей ПОЛЕССКИЙ, к. т. н.
spolessky@hse.ru

Авторы статьи рассматривают основные аспекты современного подхода к прогнозированию надежности электронных средств ответственного назначения, показывая, что при расчетной оценке интенсивности отказов таких изделий следует учитывать не только технические и программные средства, но и факторы, характеризующие систему менеджмента надежности предприятия. Данное научное исследование (№ 14-05-0038) выполнено при поддержке программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014 году.

В принятых в настоящее время методиках расчета интенсивности отказов электронных средств (ЭС) уровень требований к разработке и изготовлению аппаратуры (отработанность техпроцесса и уровень организации производства аппаратуры) учитывается с помощью «коэффициента качества производства аппаратуры» [1, 2]:

$$\Lambda_{ЭС} = K_A \times \Lambda_{\Sigma},$$

где $\Lambda_{ЭС}$ — интенсивность отказов ЭС; K_A — коэффициент качества производства аппаратуры; Λ_{Σ} — суммарная интенсивность отказов комплектующих элементов.

Коэффициент K_A отражает среднестатистическую разницу в интенсивности отказов элементов в аппаратуре, разрабатываемой и изготавливаемой по требованиям различной нормативной документации (НД). Так, в справочнике [1] приведены следующие значения коэффициента K_A в зависимости от НД:

- по комплексу стандартов «Мороз-...» — $K_A = 1$;
- по положению «РК-...» — $K_A = 0,2$.

Однако наряду с требованиями НД при проектировании ЭС действуют и требования системы менеджмента качества (СМК), в состав которых входят системы менеджмента надежности (СМН). Поэтому для определения значения K_A при наличии аттестованной СМН сле-

дует применять не только чисто статистические, но и экспертные оценки, рекомендованные RIAC-HDBK-217Plus [3], в основу которых положена следующая классификация категорий отказов ЭС:

1. Конструктивные отказы (design).
2. Производственные отказы (manufacturing).
3. Эксплуатационные отказы (induced).
4. Дegrадационные отказы (wearout).
5. Отказы комплектующих элементов (parts).
6. Отказы программного обеспечения (software).
7. Отказы, обусловленные несовершенством системы управления (system management).
8. Отказы, обусловленные несовершенством методов контроля (no defect).

Определения первых четырех видов отказов приведены в ГОСТ 27.002 [4], а для остальных приведем пояснения.

Отказы комплектующих элементов — отказы, возникающие по причине таких изменений параметров элемента, при которых он не может выполнять свои функции.

Отказы программного обеспечения — отказы, возникающие по причине проявления таких ошибок в коде программы, при которых она не может выполнять свои функции.

Отказы, обусловленные несовершенством системы управления, — отказы, вызванные неправильной трактовкой требований технического задания, несовершенством мероприятий программы обеспечения надежности и(или) недостаточностью ресурсов, выделенных для ее выполнения.

Отказы, обусловленные несовершенством методов контроля, — отказы, возникающие по причине невозможности выявления латентных дефектов существующими методами тестирования и контроля.

В справочнике [3] также приведено типовое процентное распределение отказов ЭС по каждой из рассмотренных выше категорий, которое показано на рис. 1.

Как следует из рис. 1, доля отказов ЭС, вызванных отказами комплектующих элементов, достигает 22%, что лишний раз подтверждает необходимость повышения точности и достоверности оценки их интенсивностей. Кроме того, доля конструктивных и производственных отказов в сумме составляет 24%, что также свидетельствует о целесообразности повышения точности и достоверности оценки значения коэффициента K_A .



Рис. 1. Типовое распределение отказов ЭС по категориям

Необходимо понимать, что для различных классов ЭС распределение отказов может быть иным, но при отсутствии таких данных приведенное распределение (рис. 1) может использоваться для расчета коэффициента K_A по математической модели, приведенной в справочнике [3]:

$$K_A = \Pi_P \Pi_{IM} \times \Pi_E + \Pi_D \times \Pi_G + \Pi_M \times \Pi_{IM} \times \Pi_E \times \Pi_G + \Pi_S \times \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W, \quad (1)$$

где Π_P — коэффициент, учитывающий отказы комплектующих элементов; Π_{IM} — коэффициент, учитывающий отказы в начальный период (в течение гарантийного срока); Π_E — коэффициент, учитывающий отказы из-за влияния внешней среды; Π_D — коэффициент, учитывающий конструктивные отказы; Π_G — коэффициент, учитывающий отказы, обусловленные несовершенством управления повышением надежности; Π_M — коэффициент, учитывающий производственные отказы; Π_S — коэффициент, учитывающий отказы, вызванные несовершенством системы управления; Π_I — коэффициент, учитывающий эксплуатационные отказы; Π_N — коэффициент, учитывающий отказы, обусловленные несовершенством методов контроля; Π_W — коэффициент, учитывающий деградационные отказы.

Как следует из выражения (1), K_A представляет собой не интегральную, как в справочнике [1], а многофакторную оценку качества производства ЭС. На рис. 2 приведена типовая гистограмма влияния коэффициентов модели (1) на значение K_A , по данным статистики с сайта Reliability Information Analysis Center (RIAC) [5].

Из рис. 2 хорошо видно, что наибольший вклад в значение K_A вносят коэффициенты Π_D , Π_M , Π_P и Π_S , а коэффициенты Π_N , Π_I и Π_W — наименьший. Значение коэффициента Π_{IM} модели (1) рассчитывается по формуле:

$$\Pi_{IM} = \frac{t^{-0,62}}{1,77} (1 - SS_{ESS}), \quad (2)$$

где t — гарантийный срок (наработка, ч); SS_{ESS} — коэффициент обнаружения латентных дефектов. Значение коэффициента SS_{ESS} в выражении (2) рассчитывается по формуле:

$$SS_{ESS} = SS/ESS,$$

где S — число обнаруженных дефектов; ESS — общее число латентных дефектов.

Значение коэффициента Π_E модели (1) рассчитывается по формуле:

$$\Pi_E = \frac{0,855 \left(0,8 \left[1 - e^{-0,065(\Delta T + 0,6)^6} \right] + 0,2 \left(1 - e^{-0,046G^{1,71}} \right) \right)}{0,205}, \quad (3)$$

где ΔT — изменение температуры; G — среднеквадратичное ускорение случайной вибрации.

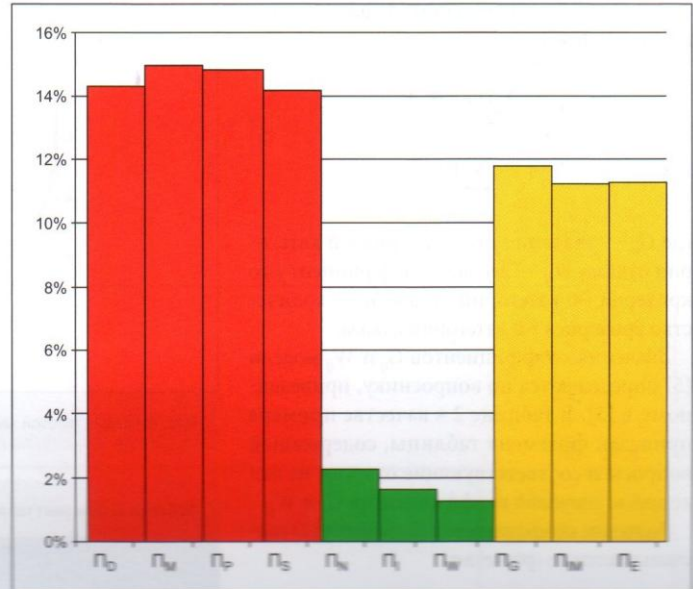


Рис. 2. Типовая гистограмма влияния коэффициентов математической модели K_A

На рис. 3а приведен вид зависимости Π_E от G .

Значение ΔT в выражении (3) рассчитывается по формуле:

$$\Delta T = T_{\text{раб}} - T_{\text{ож}},$$

где $T_{\text{раб}}$ — температура в рабочем режиме; $T_{\text{ож}}$ — температура в режиме ожидания.

На рис. 3б приведен вид зависимости Π_E от ΔT .

Значения коэффициентов Π_P , Π_D , Π_M , Π_S , Π_N , Π_I и Π_W модели (1) рассчитываются по формуле:

$$\Pi_i = \alpha_i \left[-\ln(R_i) \right]^{\frac{1}{\beta_i}}, \quad (4)$$

где α_i и β_i — постоянные коэффициенты i -й категории отказов; R_i — экспертная оценка i -й категории отказов.

Рекомендуемые значения коэффициентов α_i и β_i приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов α_i и β_i

Коеф- фициент	Π_i						
	Π_P	Π_D	Π_M	Π_S	Π_I	Π_N	Π_W
α_i	0,3	0,12	0,21	0,06	0,18	0,29	0,13
β_i	1,62	1,29	0,96	0,64	1,58	1,92	1,68

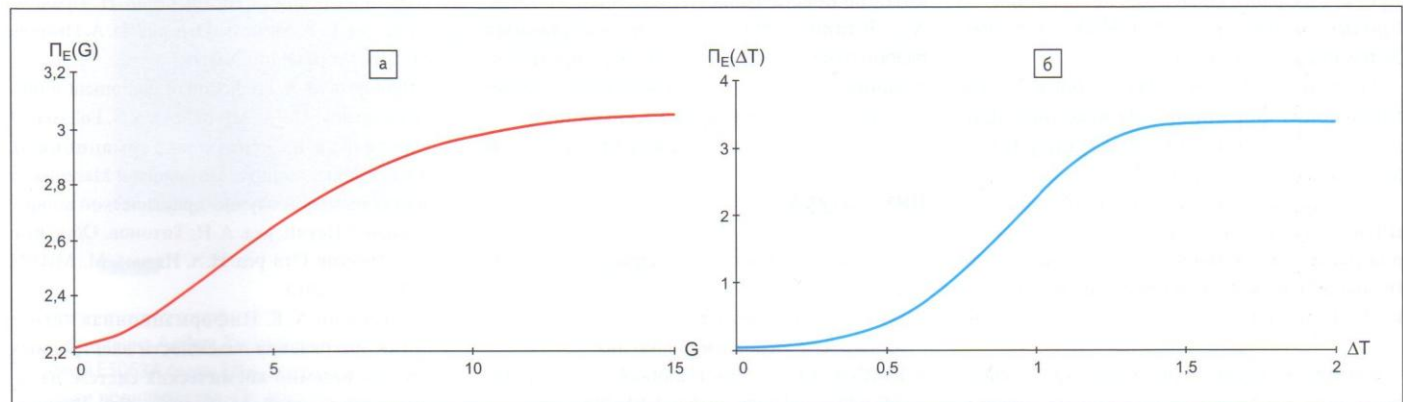


Рис. 3. Зависимость Π_E от: а) G ; б) ΔT

Значение R_i в выражении (4) рассчитывается по формуле:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (G_{ij} \times W_{ij})}{\sum_{j=1}^{N_i} W_{ij}}, \quad (5)$$

где G_{ij} — значение j -го критерия i -й категории отказа; W_{ij} — весовой коэффициент j -го критерия i -й категории отказа; n_i — количество критериев i -й категории отказа.

Значения коэффициентов G_{ij} и W_{ij} модели (5) определяются по вопроснику, приведенному в [3]. В таблице 2 в качестве примера приведен фрагмент таблицы, содержащей вопросы и соответствующие ответы на эти вопросы значения коэффициентов G_{ij} и W_{ij} .

Значение коэффициента Π_G модели (1) рассчитывается по формуле:

$$\Pi_G = \frac{1,12(t-2)^{-a}}{2^{-a}}, \quad (6)$$

где a — константа роста надежности ($a = R_i$).

Значение R_i в выражении (6) рассчитывается по формуле (5) для категории «Повышение надежности». На рис. 4 приведен типичный вид зависимости Π_i от R_i по формуле (4).

Следует отметить, что в идеальном случае значения коэффициентов Π_i будут равны 0 (рис. 4) и, в соответствии с (1), значение K_A также будет равно 0. Другими словами, идеальная СМН позволяет создать абсолютно надежное ЭС, что едва ли достижимо на практике.

Несмотря на это ограничение, применение модели (1) может оказаться полезным для уточнения прогнозной оценки интенсивностей отказов ЭС на ранних этапах проектирования [6]. На рис. 5 приведена укрупненная функциональная модель процесса прогнозирования надежности ЭС с учетом факторов СМК.

На вход блока А1 (рис. 5) поступает техническое задание (ТЗ) на разработку ЭС. Ограничения накладываются на СМК, СМН и программы обеспечения надежности (ПОН) проекта разработки ЭС. Также на основе ТЗ при использовании ПК АСОНИКА-К проводится анализ надежности.

Результаты А1 поступают в блок А3, где происходит формирование исходных данных, поступающих в блок А4 для расчета значений коэффициентов Π_i .

В блоке А5 выводятся значения коэффициентов Π_i , которые передаются в блок А6 для расчета K_A . В блоке А7 на основе отчета по анализу надежности (значения Λ_{Σ}) из блока А2 и значения K_A рассчитывается значение $\Lambda_{\text{ЭС}}$.

В блоке А7 происходит проверка полученного значения $\Lambda_{\text{ЭС}}$ на соответствие требованиям ТЗ, и в случае положительного результата данные передаются в блок А8 для выпуска

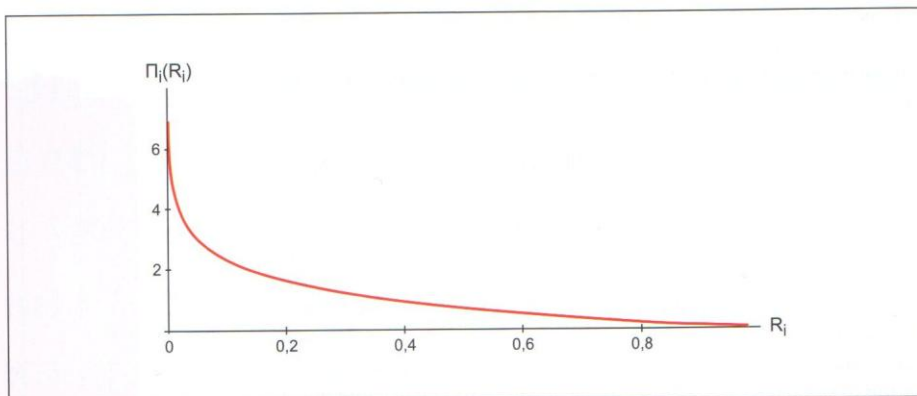


Рис. 4. График типовой зависимости Π_i от R_i

Таблица 2. Фрагмент таблицы для определения значений коэффициентов G_{ij} и W_{ij}

Вопросы	Значение	
	G_{ij}	W_{ij}
Какой процент занятых в проекте инженеров имеет соответствующие дополнительные знания (порог в 10, 20%)?	<10 — 0 10—20 — 0,5 >20 — 1	5
Какой процент членов проектной группы имеет соответствующий опыт производства (порог в 25, 50%)?	<25 — 0 25—50 — 0,5 >50 — 1	5
Какой процент членов проектной группы прежде разрабатывал подобные изделия (порог в 20, 40%)?	<20 — 0 20—40 — 0,5 >40 — 1	4
Какой процент разработчиков имеет степень бакалавра по техническому направлению (порог в 20, 40%)?	<20 — 0 20—40 — 0,5 >40 — 1	3
Какой процент разработчиков имеет высшее техническое образование либо степень магистра техники и технологии (порог в 10, 20%)?	<10 — 0 10—20 — 0,5 >20 — 1	3
Какой процент инженеров участвовал в научно-технических конференциях, симпозиумах, научно-технических советах в прошлом году; имеет патенты; авторы/соавторы статей; имеет ученые звания или состоит в научных профессиональных объединениях национального уровня (порог в 10, 20%)?	<10 — 0 10—20 — 0,5 >20 — 1	2
Какой процент инженеров проходил курсы повышения квалификации в прошлом году (порог в 10, 20%)?	<10 — 0 10—20 — 0,5 >20 — 1	2
Достаточно ли квалификация кадров в таких областях, как: оптоэлектроника, микроэлектроника, интеллектуальные системы управления, проектирование заказных интегральных микросхем и т. д., чтобы осуществлять грамотное руководство проектом и его корректное выполнение?	Да — 1 Нет — 0	7
Достаточно ли квалификация у инженеров для работы над проектом с использованием современных программных средств, таких как CAD/CAM/CAE-системы, симуляторы и т. д.?	Да — 1 Нет — 0	6
Сколько этапов разработки аналогичных проектов, которые вел руководитель, успешно выполнены? Например, стоимость проекта, сроки, надежность и др. (0, 1, 2, 3)	3 — 1 2 — 0,5 1 — 0,25 0 — 0	10

конструкторской документации. В противном случае происходит возврат на начальный этап (блок А1) для корректировки процессов СМК, СМН и мероприятий ПОН [7].

В заключение следует отметить, что не всегда расчет многофакторного коэффициента качества производства по модели (1) приводит к такому снижению значения K_A , которое обеспечивает требуемый уровень $\Lambda_{\text{ЭС}}$. В таких случаях требуется детальный разбор отчета по анализу, оценке и прогнозированию надежности, а также разработка мероприятий по снижению интенсивности отказов комплектующих элементов [8].

Литература

1. Справочник «Надежность ЭРИ». М.: МО РФ, 2006.
2. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
3. RIAC-HDBK-217Plus. Handbook of 217PlusTM reliability prediction models. USA: RIAC, 2006.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
5. Документация по анализу показателей надежности RIAC. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.theriac.org/informationresources>
6. Zhadnov V. V. Applying the methodology 217Plus in predicting the reliability of on-board equipment. / V. V. Zhadnov. // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы международной научно-практической конференции. / Научн. ред. А. Н. Тихонов. Общ. ред. С. У. Увайсов. Отв. ред. И. А. Иванов. М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013.
7. Artyukhova M. A. Prediction of equipment multi-factor quality. / M. A. Artyukhova, S. N. Polesskiy // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы международной научно-практической конференции. / Научн. ред. А. Н. Тихонов. Общ. ред. С. У. Увайсов. Отв. ред. И. А. Иванов. М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013.
8. Абрамешин А. Е. Информационная технология обеспечения надежности электронных средств наземно-космических систем: научное издание. / А. Е. Абрамешин, В. В. Жаднов, С. Н. Полесский. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2012.

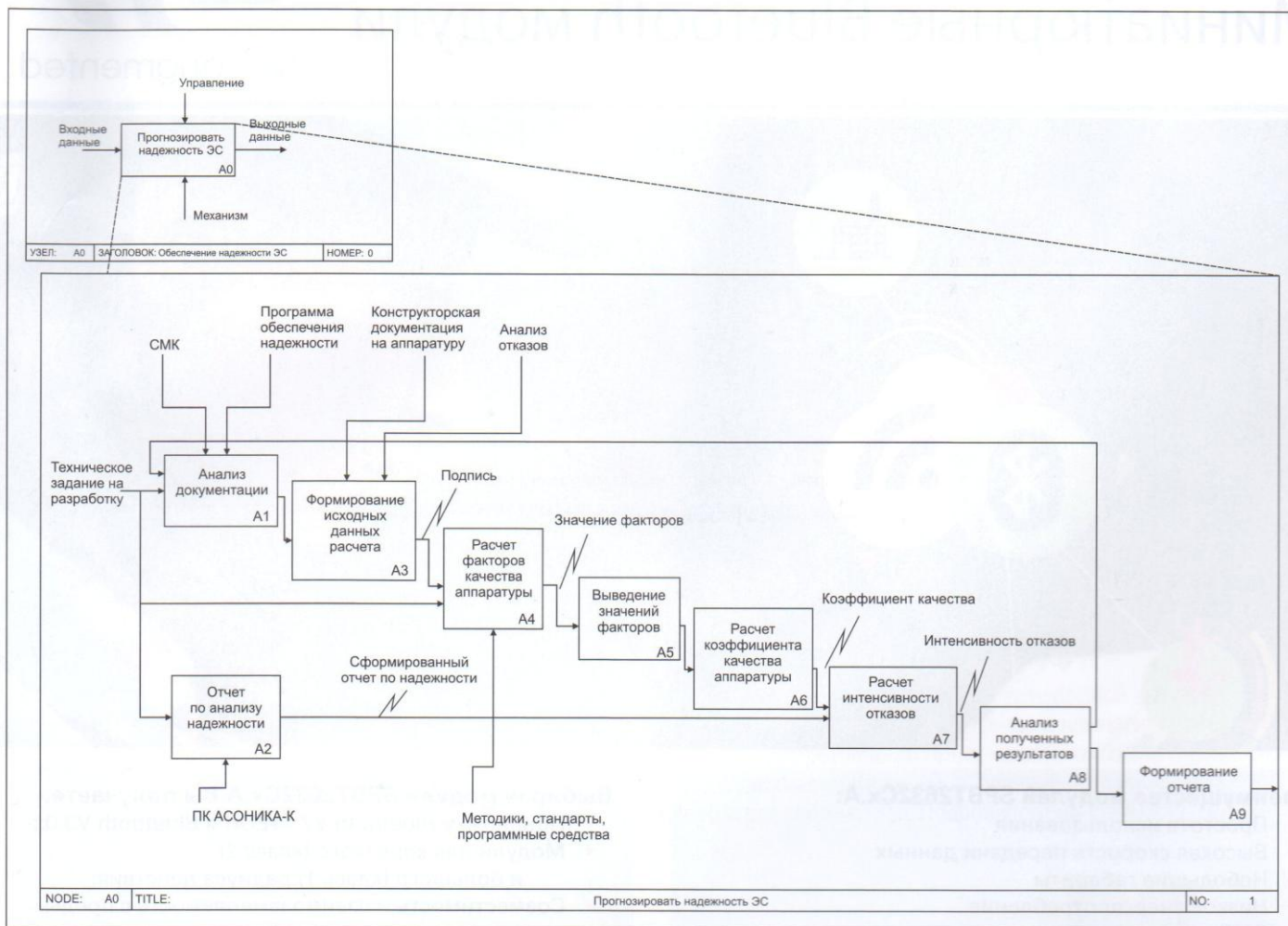
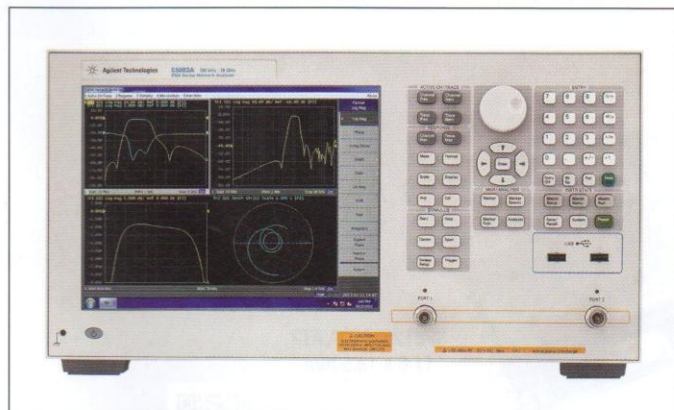


Рис. 5. Укрупненная функциональная модель процесса прогнозирования надежности ЭС

НОВОСТИ | измерительная аппаратура

Анализатор цепей серии ENA, оптимизированный для тестирования ВЧ-компонентов



Компания Agilent Technologies представила новый недорогой анализатор цепей E5063A серии ENA, предназначенный для проведения испытаний в процессе производства. Он обеспечивает оптимальное сочетание характеристик и функциональных возможностей для тестирования простых пассивных ВЧ-компонентов, таких как антенны сотовых телефонов и базовых станций сотовой связи, ВЧ-кабели и фильтры. Кроме того, его можно использовать

в процессе исследований и разработок для определения параметров пассивных ВЧ-устройств и диэлектриков.

Анализатор E5063A обеспечивает наилучшее соотношение цены и производительности. Он имеет оптимальные ВЧ-характеристики, включая низкий уровень зашумленности трафика (0,002 дБ среднеквадратичного значения) и высокую температурную стабильность (0,005 дБ/°С), что помогает сократить затраты на тестирование без ущерба качеству продукции.

Использование анализатора E5063A совместно с коаксиальным коммутатором с шиной USB U1810B дает возможность создать экономичное испытательное решение для тестирования нескольких устройств одновременно. Это позволяет с помощью одного прибора измерять характеристики сразу четырех антенн, что также способствует снижению расходов на испытания.

Благодаря широким возможностям по калибровке и анализу данных, включая функцию моделирования влияния тестовой оснастки, анализатор E5063A обеспечивает высокую производительность измерений, сопоставимую со ставшим отраслевым стандартом анализатором цепей Agilent E5071C серии ENA.

В сочетании с комплектом диэлектрического пробника 85070E анализатор E5063A представляет собой недорогое решение для определения характеристик диэлектриков, поэтому он подходит для лабораторий по исследованию новых материалов с ограниченным бюджетом.

www.agilent.com