
Измерение группового и фазового времени задержки с помощью векторного анализатора цепей **ZVR**

Указания по применению 1EZ35_1RUS

Могут быть внесены изменения

10 июля 1997 г., Олаф Оствальд (Olaf Ostwald)

Изделия:

ZVR

ZVRE

ZVRL



ROHDE & SCHWARZ

СОДЕРЖАНИЕ	СТР.
1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ	2
2 ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОЙ ЗАДЕРЖКИ	2
3 ГРУППОВОЕ ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ	5
3.1 МЕТОД ШАГОВОЙ АПЕРТУРЫ	5
3.2 МЕТОД ЧАСТОТНОЙ АПЕРТУРЫ	5
3.3 ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ	6
4 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ	8
5 ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ЗАКАЗА	8

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Комплексная частотно-зависимая функция передачи $H(f)$ произвольного испытуемого устройства (ИУ) может быть выражена как

$$H(f) = A(f) \cdot e^{j\varphi(f)}, \quad (1)$$

где $A(f)$ – амплитудная (АЧХ), а $\varphi(f)$ – фазовая (ФЧХ) характеристики ИУ. Векторные анализаторы электрических цепей способны измерять как АЧХ, так ФЧХ исследуемых цепей.

Измерение группового времени задержки (ГВЗ) основано на фазовых измерениях.

Процедура измерения соответствует определению группового времени задержки $\tau_{гр}$ как отрицательной производной от фазы φ (в градусах) по частоте f .

$$\tau_{гр} = - \frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{d\varphi}{df} \quad (2)$$

По практическим соображениям, векторные анализаторы цепей ZVR измеряют **отношение приращений**, а не производную (2), что дает хорошее приближение к искомому ГВЗ $\tau_{гр}$, при условии, что вариация фазы φ не демонстрирует сильной нелинейности в наблюдаемом диапазоне частот Δf , который называется *апертурой*.

$$\tau_{гр} \approx - \frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta f} \quad (3)$$

На рисунке 1 проиллюстрированы понятия $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ и $\Delta f = f_2 - f_1$ для линейно убывающей ФЧХ, к примеру, линии задержки. **Апертуру Δf** следует выбирать в зависимости от

- необходимой точности и
- изменения ГВЗ испытуемого устройства от частоты.

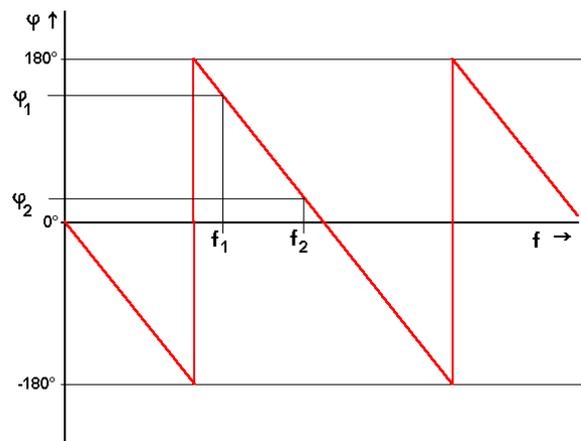


Рис. 1 – Определение фазового сдвига $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ и апертуры $\Delta f = f_2 - f_1$.

Точность измерения может быть увеличена за счет расширения апертуры. С другой стороны, при широкой апертуре разрешение по частоте при измерении ГВЗ ухудшается и возможность наблюдения мелких подробностей изменения ГВЗ от частоты теряется. (Здесь наблюдается тот же эффект, что и с известной функцией **СГЛАЖИВАНИЯ**, которая принимает среднее из измеренных значений в соседних частотных точках. Если апертура сглаживания слишком широка, то будет получена плоская измерительная кривая без каких-либо деталей).

Правильный выбор апертуры Δf всегда зависит от характеристик ГВЗ испытуемого устройства.

2 ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОЙ ЗАДЕРЖКИ

Для недисперсионного ИУ, например, коаксиального кабеля, ГВЗ не зависит от частоты, а является постоянной величиной. Следовательно, фаза $\varphi(f)$ является линейной функцией частоты:

$$\varphi(f) = - 360^\circ \cdot f \cdot \tau, \quad (4)$$

где τ – время задержки кабеля, которое напрямую связано с его механической длиной $L_{мех}$ через диэлектрическую проницаемость ϵ диэлектрика в кабеле и скоростью света c .

$$\tau = \frac{L_{мех} \cdot \sqrt{\epsilon}}{c} \quad (5)$$

(скорость света составляет $c \approx 2,9979 \cdot 10^8$ м/с ≈ 30 см/нс ≈ 1 фут/нс и ее значение легко запомнить как "один световой шаг(фут)", приблизительно равный расстоянию, которое свет проходит за 1 нс).

Произведение $L_{\text{мех}} \cdot \sqrt{\epsilon}$ называется **электрической длиной** $L_{\text{эл}}$ кабеля, так как она обозначает эффективную длину кабеля, которую должен преодолеть электрический сигнал. На практике, **электрическая длина всегда больше, чем механическая длина**, поскольку диэлектрическая проницаемость превышает единицу для всех применяемых диэлектриков (для чистого вакуума диэлектрическая проницаемость ϵ равна единице, что означает одинаковость электрической и механической длин). В пределах конечного диапазона частот для плазмы возможно даже значение $\epsilon < 1$, что означает более короткую электрическую длину).

К примеру, кабель длиной 10,34 м, заполненный обычным диэлектриком, например, тефлоном ($\epsilon = 2,1$), вызывает задержку времени $\tau = 50$ нс. Электрическая длина составляет примерно $L_{\text{эл}} \approx 15$ м. В этом примере скорость распространения электрического сигнала в кабеле $c/\sqrt{\epsilon} \approx 0,69 \cdot c$.

Как и для всех **недисперсионных ИУ**, а также для кабеля в данном примере, нет никакой разницы между временем задержки τ и ГВЗ $\tau_{\text{гр}}$, так как фаза φ является линейной функцией частоты (4). Это можно показать аналитически и с помощью измерений.

С учетом $\varphi(f) = -360^\circ \cdot f \cdot \tau$ из (2) следует, что $\tau_{\text{гр}} = \tau$.

Для измерительного примера можно использовать описанный выше коаксиальный кабель. Кабель с временем задержки 50 нс вызывает сдвиг фазы 360° при сдвиге частоты $1 / 50 \text{ нс} = 20 \text{ МГц}$. Для точного отслеживания зависимости фазового сдвига от частоты, полоса обзора частот и количество точек измерения для анализатора цепей должны быть подобраны таким образом, чтобы **сдвиг фаз между двумя соседними частотными точками не превышал 180°** . Если это не так, невозможно отличить фазовый сдвиг φ_0 от $\varphi_0 + n \cdot 360^\circ$ (где n – произвольное целое число) из-за фазовой неопределенности.

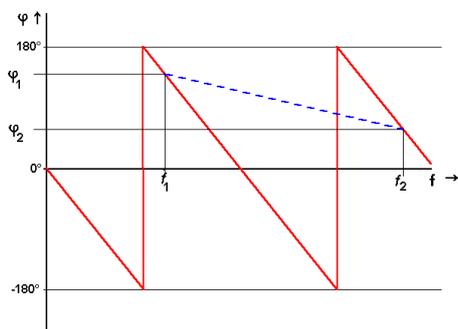


Рис. 2 – Неправильное отслеживание фазы из-за слишком большой ширины шага

Описанное явление иллюстрируется на рис. 2, где расчет разности фаз $\varphi_2 - \varphi_1$ даст неверный результат для фазового сдвига приблизительно -90° , потому что скачок фазы на 360° просто не

будет учтен. Правильное значение для $\Delta\varphi$ составляет приблизительно -450° , т.е. $-90^\circ - 360^\circ$.

Неправильное значение вызвано слишком большой шириной шага между соседними частотными точками (это явление аналогично дискретизации аудиосигнала со слишком малой частотой дискретизации, обуславливающей ошибки из-за недостаточности выборки). Чтобы учесть эту проблему, необходимо либо увеличить количество частотных точек, либо уменьшить полосу обзора частот.

Примечание – При измерении фазы или временной задержки необходимо учитывать явление отсоединения фазы. Чтобы добиться правильного отслеживания фазы, следует убедиться, что фазовый сдвиг между двумя соседними частотными точками не превышает 180° . Будьте особенно внимательны при использовании **нелинейной** развертки.

В описанном примере кабеля с задержкой 50 нс разность частот двух соседних частотных точек должна быть меньше 10 МГц. Для линейной развертки и начальной частоты (START), например, 1 МГц и конечной частоты (STOP), например, 4 ГГц это означает, что количество точек должно быть больше 400. Хорошим выбором будет, например, значение 500 точек.

[SWEEP] NUMBER OF POINTS: 500.

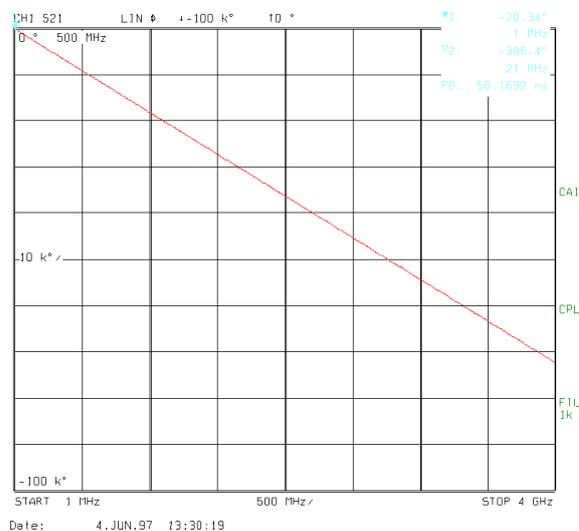


Рис. 3 – ФЧХ кабеля с задержкой 50 нс

На рис. 3 показаны результаты фазовых измерений для коаксиального кабеля с приблизительно-ным временем задержки 50 нс. Измеренная фаза начинается с -20° на частоте 1 МГц и линейно убывает до -72246° на частоте 4 ГГц.

Чтобы показать, что линейная регрессия отображаемой фазовой характеристики явно больше чем $\pm 180^\circ$, используется специальная функция анализатора ZVR, носящая название **PHASE UNWRAP** (развертка фазы).

[FORMAT] PHASE: PHASE UNWRAP

[SCALE] MAX VALUE = 0: MIN VALUE = -100 K

Эта функция принудительно отображает фазу в виде линейной зависимости без привычного пилообразного характера, который можно было бы видеть в противном случае. Как описано выше, для правильной работы функции развертки фазы необходимо, чтобы фазовый сдвиг между соседними частотными точками был меньше 180° .

Функция развертки фазы показана на рис. 4 на примере коаксиального кабеля с задержкой 2,5 нс.

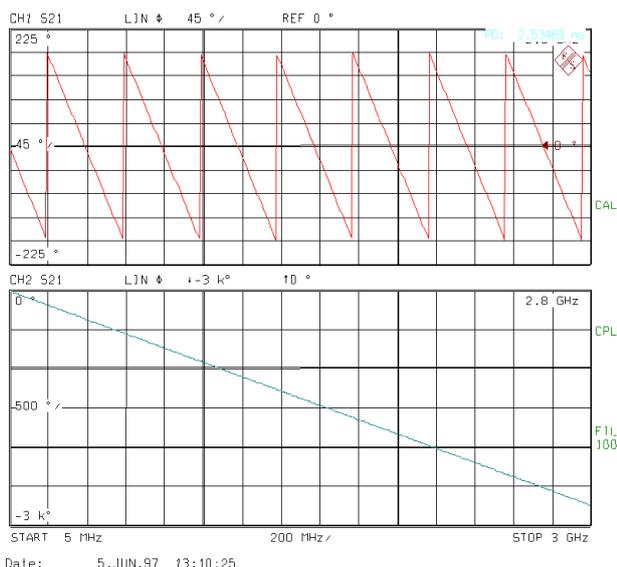


Рис. 4 – ФЧХ кабеля с задержкой 2,5 нс
вверху: без развертки фазы
внизу: с включенной разверткой фазы

Время задержки ИУ легко рассчитывается по измеренному фазовому сдвигу:

$$\tau = -\frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{f_1 - f_2}, \quad (6)$$

где φ_1 – измеренная фаза на начальной частоте f_1 , а φ_2 – измеренная фаза на конечной частоте f_2 . С фактически измеренными значениями для кабеля с задержкой 50 нс результатом для τ в (6) будет

$$\tau = 50,169 \text{ нс.}$$

Очень удобно, что векторные анализаторы цепей ZVR содержат этот тип измерений в виде особого форматирования под названием **PHASE DELAY** (фазовая задержка).

[FORMAT] PHASE DELAY

С этой целью фаза измеряется на начальной частоте (START), затем автоматически отслеживается и разворачивается в процессе развертки, и наконец, измеряется на конечной частоте (STOP). Фазовая задержка (PHASE DELAY), в конечном счете, вычисляется по (6). Особым

преимуществом измерения фазовой задержки является необычайная точность этого метода, которая может быть легко продемонстрирована на показанном примере:

Погрешность измерения фазы $\delta\varphi$, указанная в технических данных, составляет менее $0,4^\circ$ (и является типичным в диапазоне нескольких сотен градусов). Пренебрегая малой девиацией частоты анализатора ZVR, **максимальное значение погрешности** может быть рассчитано по формуле (6) для измеренного времени задержки τ

$$\delta\tau \approx (0,4^\circ / 722226^\circ) \cdot 50 \text{ нс} \approx \mathbf{0,28 \text{ пс}} \quad (7)$$

Преобразование времени задержки в длину даст

$$\delta L = \delta\tau \cdot c \approx 84 \text{ мкм}, \quad (8)$$

Что на самом деле является чрезвычайно малой погрешностью измерения электрической длины.

Стоит также напомнить, что найденная погрешность является абсолютной величиной и не зависит от длины кабеля (если фаза продолжает отслеживаться должным образом). Для кабеля с задержкой 100 нс, например, погрешность по-прежнему составляет примерно 0,28 пс (для правильного отслеживания фазы количество точек в этом случае должно быть удвоено до 1000).

Преобразование из фазовой задержки (**PHASE DELAY**) в электрическую длину (**ELECTRICAL LENGTH**) или механическую длину (**MECHANICAL LENGTH**) может выполняться автоматически самим прибором ZVR, если пользователем активирована соответствующая функциональная клавиша в меню **FORMAT** (Формат).

[FORMAT] ELECTRICAL LENGTH или

[FORMAT] MECHANICAL LENGTH

Для преобразования в механическую длину из таблицы установленных диэлектрических постоянных **SET DIELECTRIC TABLE** в меню **FORMAT** (Формат) может быть выбрана произвольная диэлектрическая проницаемость, например, для одного из предварительно заданных материалов, в частности, тефлон с заданной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,1$ или недавно отредактированный пользователем диэлектрик.

Измеренное значение отображается на экране в верхнем правом углу под считанными маркером значениями с префиксом PD, EL или ML, означающими, соответственно, фазовую задержку (**PHASE DELAY**), электрическую длину (**ELECTRICAL LENGTH**) или механическую длину (**MECHANICAL LENGTH**).

3 ГРУППОВОЕ ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ

Как уже говорилось, в отличие от измерения фазовой задержки (PHASE DELAY), измерение ГВЗ (GROUP DELAY) также возможно для **дисперсионных ИУ**, т. е. устройств с нелинейной ФЧХ.

Для анализаторов цепей ZVR доступны два разных способа ввода **апертуры**. Один из них называется **шаговой апертурой (STEP APERTURE)**, другой – **частотной апертурой (FREQUENCY APERTURE)**. В этих режимах используются разные методы измерения ГВЗ и имеются разные функции.

3.1 МЕТОД ШАГОВОЙ АПЕРТУРЫ

Как правило используется метод шаговой апертуры (**STEP APERTURE**), который может быть введен следующим образом:

[FORMAT] GROUP DELAY: STEP APERTURE: N

где N – произвольное целое число в диапазоне $1 < N < (\text{Количество точек} - 1)$, например, $N = 10$.

Для метода шаговой апертуры апертура Δf задается с помощью установленной полосы обзора частот (**SPAN**) и выбранного количества точек (**NUMBER OF POINTS**):

$$\Delta f = N \cdot (\text{SPAN}) / (\text{NUMBER OF POINTS} - 1)$$

Отношение **(SPAN) / (NUMBER OF POINTS - 1)** можно интерпретировать как **ширину шага** между двумя точками измерений, как показано на рис. 5.

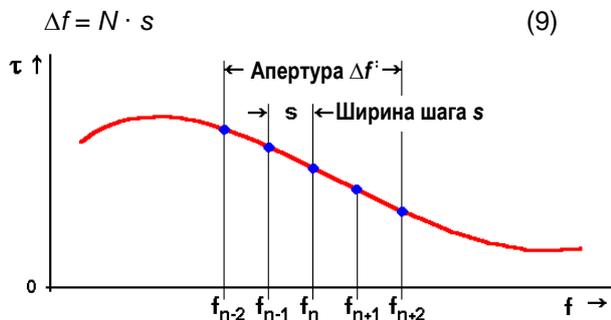


Рис. 5 – Шаговая апертура Δf для $N = 4$

Этот метод измерения ГВЗ обычно используется при линейной частотной развертке. Его преимущество состоит в том, что, для определения ГВЗ необходимо выполнить фазовые измерения только в тех частотных точках, которые уже являются частью частотной сетки.

Фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ из (3) определяется по разности измеренных фаз на частотах f_{n+2} и f_{n-2} , соответственно (рис. 5). Как правило, разность фаз между этими двумя частотами не должна превышать 180° , чтобы обеспечить надлежащее отслеживание фазы. Однако для векторных анализаторов цепей ZVR дополнительно реализована специальная функция, носящая название **неявное отслеживание фазы** между двумя

соседними частотными точками. Она допускает максимальный фазовый сдвиг $N \cdot 180^\circ$ в пределах апертуры и увеличивает точность измерения. В примере на рис. 5 при $N = 4$ это означает, что между частотами f_{n-2} и f_{n+2} допускается максимальный фазовый сдвиг 720° ; таким образом, точность измерения повышается в N раз по сравнению с измерением ГВЗ без неявного отслеживания фазы.

Обратите внимание на снижение точности вблизи начальной (START) и конечной (STOP) частот. Это связано с естественным уменьшением апертуры по обоим краям полосы обзора частот.

3.2 МЕТОД ЧАСТОТНОЙ АПЕРТУРЫ

Для некоторых приложений то, что апертура Δf не может быть выбрана произвольно и независимо от частотной сетки, может оказаться недостатком. В частности, при использовании **нелинейной развертки** метод **шаговой апертуры** приведет к получению **непостоянной апертуры** Δf от частоты, что может вызвать проблемы.

Поэтому векторные анализаторы цепей ZVR поддерживают альтернативный метод задания апертуры Δf для измерения ГВЗ, который называется **метод частотной апертуры**. Он может быть выбран с помощью функциональной клавиши **FREQUENCY APERTURE**:

[FORMAT] GROUP DELAY: FREQUENCY APERTURE:
например, 100 kHz

Теперь апертуру Δf можно непосредственно вводить в виде абсолютного значения частоты, например, 100 kHz . Необходимая апертура, однако, не всегда укладывается в ширину шага s между соседними точками измерения частотной сетки, как это было в методе шаговой апертуры (рис. 5).

Это означает, что необходимо определить отдельную частотную сетку с совпадающими частотными точками для измерения ГВЗ. В анализаторе ZVR эта сетка рассчитывается автоматически. Он обеспечивает правильное и четко заданное измерение ГВЗ с **фиксированной по частоте апертурой** Δf независимо от выбранного количества точек и независимо от линейности или нелинейности выбранной частотной развертки.

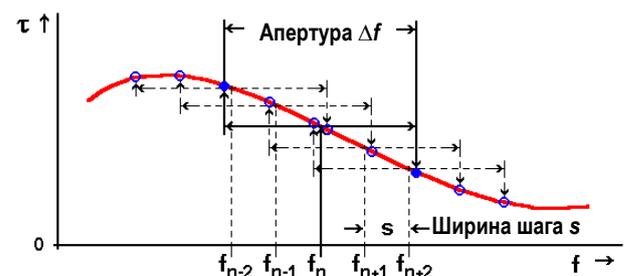


Рис. 6 – Частотная апертура Δf

На рис. 6 сплошными линиями показано определение частотной апертуры Δf для произвольной частотной точки f_n , а пунктирными линиями – для других частотных точек $f_{n-2} \dots f_{n+2}$. Для определения ГВЗ на частоте f_n фаза измеряется на двух частотах, каждая из которых разнесена на половину апертуры от частоты f_n , т.е. $f_n - \Delta f/2$ и $f_n + \Delta f/2$. В отличие от метода шаговой апертуры, на частоте f_n измерение фазы не проводится, так как частотная апертура Δf , как правило, не является кратным целым ширины шага s .

Именно поэтому по сравнению с методом шаговой апертуры количество фазовых измерений удваивается и, соответственно, в два раза уменьшается скорость развертки. Это может рассматриваться как небольшой недостаток по сравнению с измерением ГВЗ методом шаговой апертуры.

Отдельная частотная сетка для измерения ГВЗ с помощью частотной апертуры определяется независимо по отображаемым частотам. Это дает дополнительное преимущество. В отличие от метода шаговой апертуры, никаких краевых эффектов в методе частотной апертуры не возникает.

На рис. 7 показаны результаты измерения ГВЗ с использованием данного метода. В качестве ИУ вновь служит коаксиальный кабель с задержкой 50 нс. Была использована логарифмическая частотная развертка и фиксированная частотная апертура 5 МГц.

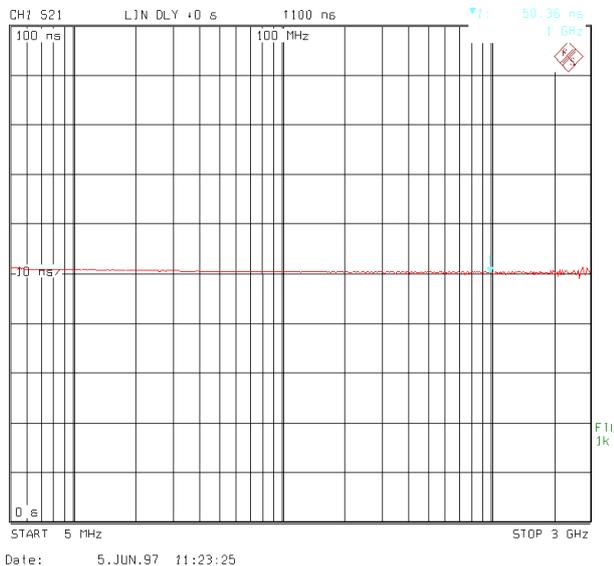


Рис. 7 – Измеренное значение ГВЗ для кабеля с задержкой 50 нс

3.3 ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Как правило, **точность измерения ГВЗ** прямо пропорциональна выбранной апертуре Δf (в случае метода шаговой апертуры точность дополнительно увеличивается за счет функции неявного развертывания фазы прибора ZVR).

Ожидаемая погрешность $\delta\tau_{гр}$ для измеренного ГВЗ, таким образом, обратно пропорциональна апертуре Δf . В соответствии с (7) получаем

$$\delta\tau_{гр} \approx \frac{\delta\varphi}{\Delta\varphi} \cdot \tau_{гр} \quad (10)$$

Вновь минимальной погрешностью по частоте анализатора ZVR можно пренебречь. Полагая фазовую погрешность $\delta\varphi \approx 0,4^\circ$ и **надлежащим образом выбранную апертуру Δf** , так что измеренный фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ меньше 180° , но достаточно большой, чтобы обеспечить высокую точность, например, $\Delta\varphi \approx 100^\circ$, ожидаемая погрешность измерения ГВЗ составит

$$\delta\tau_{гр} \approx 0,004 \cdot \tau_{гр} . \quad (11)$$

В отличие от погрешности измерения фазовой задержки, которая была определена выше по формуле (7), погрешность в данном случае является относительной величиной и зависит от измеряемого ГВЗ. Например, ГВЗ 50 нс может быть определено с отклонением 0,2 нс, в то время как для ГВЗ 100 нс отклонение возрастет до 0,4 нс.

В большинстве случаев, ожидаемое отклонение может быть определено по формуле (3)

$$\delta\tau_{гр} \approx \frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{\delta\Delta\varphi}{\Delta\varphi} \quad (12)$$

где $\delta\Delta\varphi < 0,4^\circ$ даст $\delta\tau_{гр} \approx 0,001 / \Delta\varphi$.

Подводя итог, для получения **оптимальной точности измерений ГВЗ** апертура должна быть выбрана таким образом, чтобы фазовый сдвиг в ее пределах составлял чуть менее 180° . Основываясь на этом предположении и с учетом заданного ГВЗ для ИУ, согласно (3) получим:

$$\Delta f < 0,5 / \tau_{гр} . \quad (13)$$

Хорошим выбором будет апертура $\Delta f \approx 0,3 / \tau_{гр}$. Такая величина даст высокую точность и позволит избежать возможных ошибок отслеживания фазы, которые могут возникнуть в случае выбора максимальной апертуры, если вариация $\tau_{гр}$ испытуемого устройства по частоте превысит прогнозируемое значение.

Таблица 1 – Связь апертуры и ГВЗ

ГВЗ $\tau_{гр}$	Апертура Δf		
	Минимум	Оптимум	Максимум
10 нс	100 кГц	30 МГц	50 МГц
100 нс	10 кГц	3 МГц	5 МГц
1 мкс	1 кГц	300 кГц	500 кГц
10 мкс	100 Гц	30 кГц	50 кГц
100 мкс	10 Гц	3 кГц	5 кГц
1 мс	1 Гц	300 Гц	500 Гц

Как уже говорилось, можно значительно превышать максимальные значения апертуры, перечисленные в таблице 1, вплоть до N·Максимум, если

- используется метод измерения ГВЗ с шаговой апертурой, и если
- число N (т.е. количество точек измерений – 1 в пределах апертуры) выше 1, и если
- вариации ГВЗ сглажены.

При этом точность измерения ГВЗ повышается в N раз при условии, что сдвиг фаз между каждой из двух соседних частотных точек в пределах апертуры достаточно велик, например, 100°.

Таблица 2 – Зависимость погрешности измерения ГВЗ от апертуры

Апертура Δf	Погрешность измерения $\delta\tau_{гр}$
1 кГц	1 мкс
2 кГц	500 нс
5 кГц	200 нс
10 кГц	100 нс
20 кГц	50 нс
50 кГц	20 нс
100 кГц	10 нс
200 кГц	5 нс
500 кГц	2 нс
1 МГц	1 нс
2 МГц	500 пс
5 МГц	200 пс
10 МГц	100 пс
20 МГц	50 пс
50 МГц	20 пс
100 МГц	10 пс

Как уже объяснялось выше, можно дополнительно повысить точность измерений за счет использования метода шаговой апертуры с $N \gg 1$ (неявное отслеживание фазы).

При использовании **малых апертур** разрешение изменений ГВЗ от частоты повышается, что позволяет лучше вникнуть в тонкую структуру ГВЗ испытываемого устройства. Однако малые апертуры влияют на точность измерений, что можно видеть из таблицы 2. Не применяйте апертуры менее $0,001 / \tau_{гр}$, так как в противном случае измеряемый фазовый сдвиг будет иметь величину порядка погрешности любого фазового сдвига, тем самым вызывая зашумленность кривой измерения ГВЗ.

На точность измерения ГВЗ могут повлиять многочисленные переотражения сигнала между ИУ и анализатором цепей. Для снижения их влияния рекомендуется выполнить полную двухпортовую калибровку анализатора, т.е. ТОМ.

При **измерении ГВЗ для ИУ с преобразованием частоты** (требуются опции ZVR-B4 и ZVR-B6) точность измерения может также снижаться из-за побочных сигналов, генерируемых либо ИУ, либо внутренним источником анализатора цепей, а затем преобразованных по частоте испытываемым устройством.

В качестве **дополнительной функции** векторный анализатор цепей ZVR обеспечивает возможность добавления произвольного смещения (**OFFSET**) к результатам измерения. Оно может быть добавлено к амплитуде (**MAGNITUDE OFFSET**), фазе (**PHASE OFFSET**) или времени задержки (**DELAY TIME OFFSET**). Смещение может добавляться на портах 1 или 2 или сразу на обоих портах. Вместо добавления смещения времени задержки (**DELAY TIME OFFSET**) можно увеличить значение электрической (**ELECTRICAL LENGTH**) или механической (**MECHANICAL LENGTH**) длины.

Очень удобно использовать функцию автоматического выбора длины (**AUTO LENGTH**) из меню **OFFSET** (Смещение), так как она автоматически вычисляет линейную регрессию для измеренной ФЧХ и вычитает оптимальное значение задержки **DELAY TIME OFFSET**, что дает **максимально плоскую ФЧХ**. Автоматически выбранное значение смещения времени задержки **DELAY TIME OFFSET** можно отобразить на экране нажатием клавиши

[OFFSET] DELAY TIME.

Олаф Оствальд (Olaf Ostwald), 1ES3
Rohde & Schwarz
10 июля 1997 г.

4 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

- [1] O. Ostwald: 3-Port Measurements with Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ26_1E.
- [2] H.-G. Krekels: Automatic Calibration of Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ30_1E.
- [3] O. Ostwald: 4-Port Measurements with Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ25_1E.
- [4] T. Bednorz: Measurement Uncertainties for Vector Network Analysis, Appl. Note 1EZ29_1E.
- [5] P. Kraus: Measurements on Frequency-Converting DUTs using Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ32_1E.
- [6] J. Ganzert: Accessing Measurement Data and Controlling the Vector Network Analyzer via DDE, Appl. Note 1EZ33_1E.
- [7] J. Ganzert: File Transfer between Analyzers FSE or ZVR and PC using MS-DOS Interlink, Appl. Note 1EZ34_1E.
- [8] O. Ostwald: Group and Phase Delay Measurements with Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ35_1E.
- [9] O. Ostwald: Multipoint Measurements using Vector Network Analyzer, Appl. Note 1EZ37_1E.
- [10] O. Ostwald: Frequently Asked Questions about Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ38_3E.
- [11] A. Gleißner: Internal Data Transfer between Windows 3.1 / Excel and Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ39_1E.
- [12] A. Gleißner: Power Calibration of Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ41_2E
- [13] O. Ostwald: Pulsed Measurements on GSM Amplifier SMD ICs with Vector Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ42_1E.
- [14] O. Ostwald: Zeitbereichsmessungen mit dem Netzwerkanalysator ZVR, Appl. Note 1EZ44_1D.

5 ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ЗАКАЗА

Наименование для заказа	Тип	Диапазон частот	Код заказа
Векторные анализаторы цепей (с включенным набором для тестирования)*			
3-канальный, однонаправл., 50 Ом, пассивный	ZVRL	от 9 кГц до 4 ГГц	1043.0009.41
3-канальный, двунаправл., 50 Ом, пассивный	ZVRE	от 9 кГц до 4 ГГц	1043.0009.51
3-канальный, двунаправл., 50 Ом, активный	ZVRE	от 300 кГц до 4 ГГц	1043.0009.52
4-канальный, двунаправл., 50 Ом, пассивный	ZVR	от 9 кГц до 4 ГГц	1043.0009.61
4-канальный, двунаправл., 50 Ом, активный	ZVR	от 300 кГц до 4 ГГц	1043.0009.62
3-канальный, двунаправл., 50 Ом, активный	ZVCE	от 20 кГц до 8 ГГц	1106.9020.50
4-канальный, двунаправл., 50 Ом, активный	ZVC	от 20 кГц до 8 ГГц	1106.9020.60
Альтернативные наборы для тестирования*			
КСВ-мост для ZVRL, 75 Ом (вместо 50 Ом) ¹⁾			
75 Ом, пассивный	ZVR-A71	от 9 кГц до 4 ГГц	1043.7690.18
Пара КСВ-мостов для ZVRE и ZVR, 75 Ом (вместо 50 Ом) ¹⁾			
75 Ом, пассивный	ZVR-A75	от 9 кГц до 4 ГГц	1043.7755.28
75 Ом, активный	ZVR-A76	от 300 кГц до 4 ГГц	1043.7755.29
Опции			
Автокалибровка	ZVR-B1	от 0 до 8 ГГц	1044.0625.02
Временная область	ZVR-B2	как в анализаторе	1044.1009.02
Измерение смесителей ²⁾	ZVR-B4	как в анализаторе	1044.1215.02
Порты опорного канала	ZVR-B6	как в анализаторе	1044.1415.02
Калибровка мощности ³⁾	ZVR-B7	как в анализаторе	1044.1544.02
3-портовый адаптер	ZVR-B8	от 0 до 4 ГГц	1086.0000.02
Виртуальные встраиваемые цепи ⁴⁾	ZVR-K9	как в анализаторе	1106.8830.02
4-портовый адаптер (2xSPDT)	ZVR-B14	от 0 до 4 ГГц	1106.7510.02
4-портовый адаптер (SP3T)	ZVR-B14	от 0 до 4 ГГц	1106.7510.03
Контроллер (нем.) ⁵⁾	ZVR-B15	-	1044.0290.02
Контроллер (англ.) ⁵⁾	ZVR-B15	-	1044.0290.03
Ethernet BNC для ZVR-B15	FSE-B16	-	1073.5973.02
Ethernet AUI для ZVR-B15	FSE-B16	-	1073.5973.03
Интерфейс шины IEC/IEEE для опции ZVR-B15	FSE-B17	-	1066.4017.02
Ступенчатый аттенюатор генератора для порта 1	ZVR-B21	как в анализаторе	1044.0025.11
Ступенчатый аттенюатор генератора для порта 2 ⁶⁾	ZVR-B22	как в анализаторе	1044.0025.21
Ступенчатый аттенюатор приемника для порта 1	ZVR-B23	как в анализаторе	1044.0025.12
Ступенчатый аттенюатор приемника для порта 2	ZVR-B24	как в анализаторе	1044.0025.22
Внешние измерения, 50 Ом ⁷⁾	ZVR-B25	от 10 Гц до 4 ГГц (ZVR/E/L) от 20 кГц до 8 ГГц (ZVC/E)	1044.0460.02

- 1) Необходимо заказывать вместе с анализатором.
- 2) Включая измерение гармоник.
- 3) Требуется измеритель и датчик мощности.
- 4) Только для ZVR или ZVC с опцией ZVR-B15.
- 5) DOS, Windows 3.11, клавиатура и мышь в комплекте.
- 6) Только для ZVR или ZVC.
- 7) Требуется ступенчатые аттенюаторы.

* **Примечание** – Активные наборы для тестирования, в отличие от пассивных, содержат внутренние инжекторы постоянного тока, например, для питания ИУ.