

Использование функции порядкового анализа для слежения за состоянием крупного турбогенератора на этапе выбега.

Авторы: Свенд Гейд, Хенрик Херлуфсен и Ханс Константин-Хансен, Брюль и Кьер, Дания

В настоящей рубрике “Информация о применении” приведен пример практического использования функции порядкового слежения анализатора PULSE™, Многофункциональной системы анализа 3560. Данные, которые будут проанализированы, собраны на этапе выбега крупного турбогенератора электростанции. В процессе измерений подтверждено предположение относительно возникновения на этом этапе критических скоростей. Кроме того выявлена составляющая 37-го порядка гармоник(и, соответственно, кратных чисел), причиной возникновения которой явилось ослабление крепления лопастей системы вентилятора.



ВВЕДЕНИЕ

Для анализа вибрационных или акустических сигналов вращающихся механизмов чаще всего используются не частотные, а порядковые спектры. Порядковый спектр содержит данные об амплитуде и/или фазе сигнала в функции от порядка гармоник частоты вращения. Это означает, что независимо от скорости вращения механизма составляющая порядка гармоник или субгармоник остается на одной и той же анализируемой линии. Описанный метод называется “слежение”, так как предполагает отслеживание значений частоты вращения, результаты которого используются для анализа данных. Так как большинство действующих на механизм динамических нагрузок связаны с частотой вращения, процедуры интерпретации результатов и диагностирования неисправностей благодаря использованию порядкового анализа могут быть значительно упрощены.

Классическая проблема размывания частотных составляющих под влиянием колебаний скорости вращения механизма также решается путем применения порядкового анализа. В ситуациях, когда наблюдается объединение частотных составляющих стандартного частотного анализа, применение функции порядкового анализа только облегчит постановку правильного диагноза.

Особый интерес представляет анализ вибраций, возникающих на этапе разбега или выбега вращающегося механизма; в этом случае структурные резонансные колебания возбуждаются под влиянием основной или других гармоник частоты вращения механической системы. Возможность определения критических скоростей при заданных стандартных режимах вращения вала особенно важна при эксплуатации таких крупных агрегатов, как турбины и генераторы.

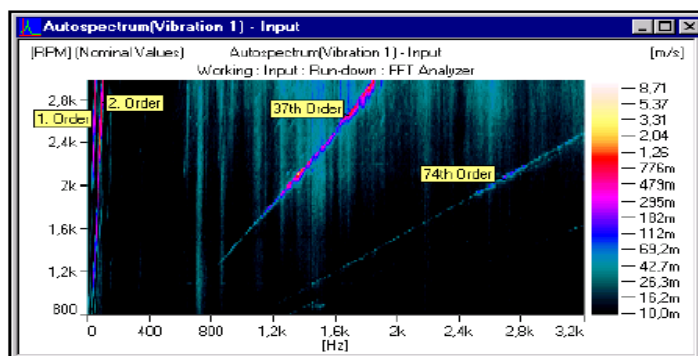


рис. 1 Контурный график этапа выбега, построенный при помощи стандартного БПФ анализа.

Применив БПФ анализатор, работающий в стандартном режиме выборки с фиксированной частотой выборки (т.е. не в режиме слежения), и построив спектральную диаграмму для скорости вращения механизма на отдельных заданных этапах, можно получить так называемую диаграмму Кэмпбелла. Эта диаграмма представляет собой трехмерный график, на котором изображена зависимость уровней вибраций как функции частоты вращения от скорости вращения (об/мин) механизма (вертикальная ось).

Это означает, что гармонические составляющие появляются на радиальных линиях, проходящих через точку 0 Гц, 0 об/мин, а структурные резонансы размещаются на вертикальных прямых (линии постоянной частоты). Таким образом, график имеет большое практическое значение (рис. 1). Однако этот график имеет и некоторые недостатки, к которым относится явление размывания составляющих, связанное с тем, что использование для отдельных спектров временного окна создает определенный разброс скорости. Энергия составляющих оказывается распределенной по нескольким линиям. Больше всего это относится к составляющим высокочастотного спектра, например, таким, как характерные для частоты зацепления зубьев зубчатой передачи, которые могут оказаться размытыми настолько, что элементы структур боковых полос оказываются потерянными для анализа. Это представляет главную причину того, почему вместо указанного метода применяется порядковый анализ.

В процессе проведения порядкового анализа значения временной записи указываются в оборотах [ОБ], а не в секундах [с], а соответствующий БПФ спектр описывается через порядки [ПОР], а не единицы частоты [Гц]. Аналогично разрешающей способности дельтаF [Гц] частотного спектра, которая равна $1/T$, где T [с] - это количество секунд на каждую БПФ-запись, разрешающая способность следящего анализа, дельтапор [ПОР] равна $1/\text{об}$, где об [ОБ] - это количество оборотов на одну БПФ запись. Для анализа данных при значении "об" один или более оборотов на запись, спектральная разрешающая способность равна или выше 1 ПОР. В результате анализа оказывается возможным получить высокоразрешимый порядковый спектр, в котором отдельные порядки или доли порядков соотнесены непосредственно с различными частями вращающегося механизма. Акцент делается на порядках.

В целом, можно сказать, что проведение следящего анализа с использованием БПФ анализатора представляет собой анализ, при котором гармоническая модель вибросигнала вращающегося механизма независимо от колебаний скорости вращения стабилизирована в пределах отдельных линий. Это означает, что вся энергия отдельной гармоники сконцентрирована на одной линии и имеется возможность избежать характерного для стандартного аналитического метода размывания частотных компонентов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПОРЯДКОВОГО СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ КРУПНОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА НА ЭТАПЕ ВЫБЕГА

Поступление вибросигналов (характерных для ускорения) с подшипников генератора и турбины было зарегистрировано одновременно с фиксацией тахометрического сигнала Фотоэлектрического тахометрического зонда ММ0012, содержащего информацию о частоте вращения вала.

Продолжительность этапа выбега составляла около 10 минут, что позволило применить метод порядкового анализа. Было проанализировано 20 нижних гармоник вибросигнала, поступившего на этапе выбега. Конфигурация системы PULSE и порядковый спектр для частоты вращения 2513 об/мин показаны ниже на рис. 2.

Конфигурация

Ширина полосы частот системного анализа: Устанавливается автоматически

Анализатор порядков

Линии: 400

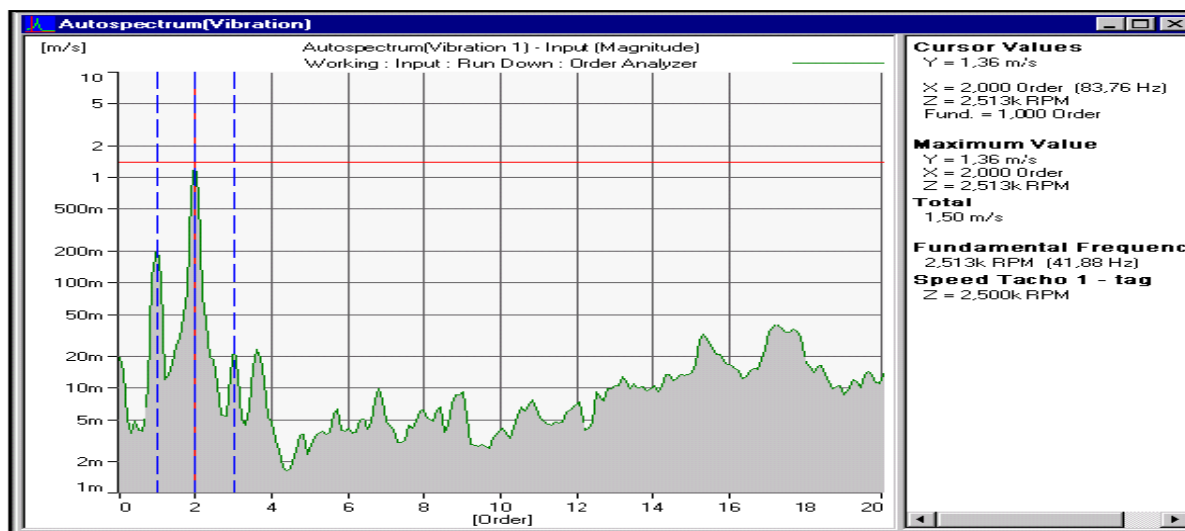


рис. 2 Порядковый спектр для частоты вращения 2513 об/мин и конфигурация режима измерений. Обратите внимание: на графике видны только 3 значимых порядка.

Порядковый диапазон: 40 порядков
Порядок: порядок 100 м
Размер записи: 10 вр/зап

Запускающее устройство: Свободный запуск
Наложение: 66,67%
Усреднение:
Обновление усредненных значений: Новая запись
Экспоненциальное усредняющее 20 слежение:
Режим слежения: Автоматический
Диапазон частот: 25,6 кГц
Пределы основной частоты: 0 -- 38,4 к об/мин (0 -- 640 Гц)
Тахометр: Тахометр
Тахометрический сигнал: Сигнал скорости (Тахо 1)

Вибрация 1

Окно: Хэннинга
Взвешивание: Отсутствует
Интеграция-дифференциация: Отсутствует
Канал 1
Настройка коэффициента усиления: 1
Максимальный входной сигнал: 5 в (6,667 м/с)

Тахометр

Тахо 1
Обнаружение тахосигнала
Наклон: Положительный
Уровень: -20% от уровня максимального входного сигнала
Гистерезис: 20% от уровня максимального входного сигнала
Задержка: 1u сек 40% интервала
Делитель: 1 импульс
Усреднитель: 5 импульсов

Передаточное отношение тахосигнала:

Выбор типа передаточного отношения: Коэффициент

Коэффициент передаточного отношения: $1/1 \times 1/1 \times 1/1 \times 1/1 = 1$

Множитель: 1
Комбинированный: 1
Чувствительность: 1 в/в
Настройка коэффициента усиления: 1
Максимальный входной сигнал: 5 в (6,667 в)

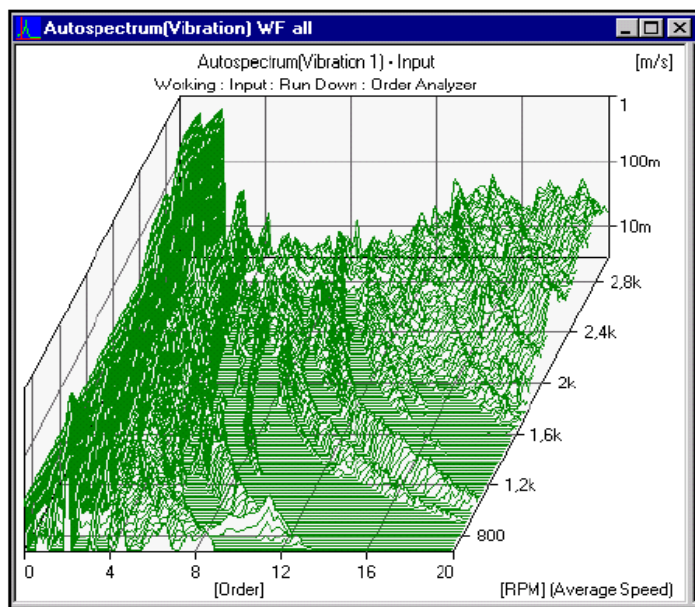


рис. 3 Порядковый анализ нижних гармоник вибросигнала с подшипника генератора на этапе выбега.

На оси скорости вращения, представляющей собой плоскость порядка гармоник, гиперболических кривых видны составляющие постоянной частоты, предположительно вибрации другого машинного оборудования, поступившие через основания этих механизмов. Кривые построены с учетом равенства $s \times n = f \times 60$, где s - скорость вращения в об/мин, n - порядок гармоник, а F - частота в Гц. На рис. 4 приведено несколько примеров кривых составляющих постоянной частоты. Обратите внимание на явление размывания составляющих постоянной частоты. Этот график имеет важное практическое значение, так как дает возможность одновременного графического представления на экране всех частотных составляющих.

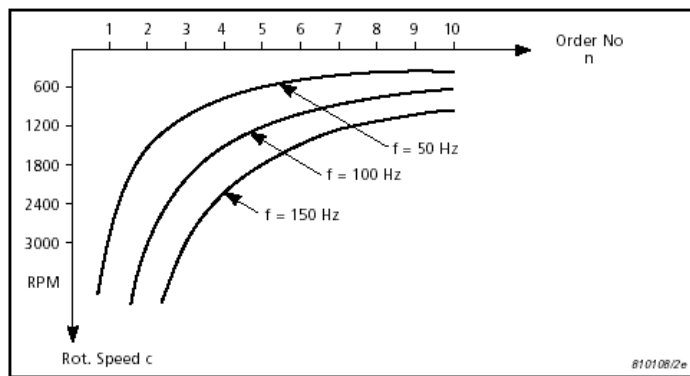
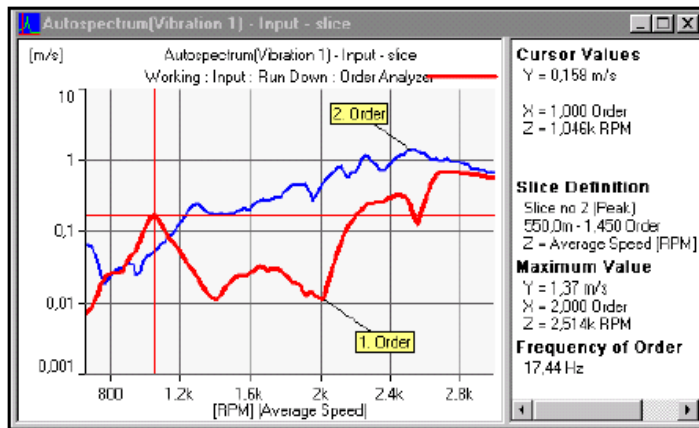


рис. 4 Кривые составляющих постоянной частоты.
а. скорость вращения; б. номер порядка.

На рис. 3 изображен трехмерный график зарегистрированных спектров вертикального вибросигнала, поступившего с подшипника генератора. Отчетливо просматривается изменение уровня первых 3 гармоник, что указывает на наличие характерных резонансных компонентов. Например, четко видно присутствие этих компонентов на основной гармонике в промежутке 950 об/мин - 1050 об/мин, что скорее всего вызвано также второй гармоникой в диапазоне 475 об/мин - 525 об/мин.

При помощи функции среза (по оси порядков), как показано на рис. 5, можно создать на экране подробное изображение резонансных компонентов. На рисунке видно, что пик резонанса в области 1000 об/мин размещен практически на частоте 17,44 Гц, а причиной резонанса являются и основная, и вторая гармоники. Расширение резонансной формы кривой в области 1700 об/мин первой гармоники заметно также и на второй гармонике.

Повышение уровня в точке 2700 об/мин на основной гармонике соответствует точке возникновения критической скорости, заявленной заводом-изготовителем на частоте 45,8 Гц. На второй гармонике присутствия резонансных компонентов не наблюдается. В диапазоне 1500-3000 об/мин второй гармоники видно по меньшей мере четыре пика. Некоторые пики могут представлять собой синтез нескольких резонансных компонентов.



ис. 5 Основной и второй порядок вибраций генератора на этапе выбега.

Если же уровень вибраций должен быть измерен с использованием значений мощности, учитывая тот факт, что кинетическая энергия пропорциональна квадрату скорости, следует измерять значения скорости (путем интегрирования ускорения).

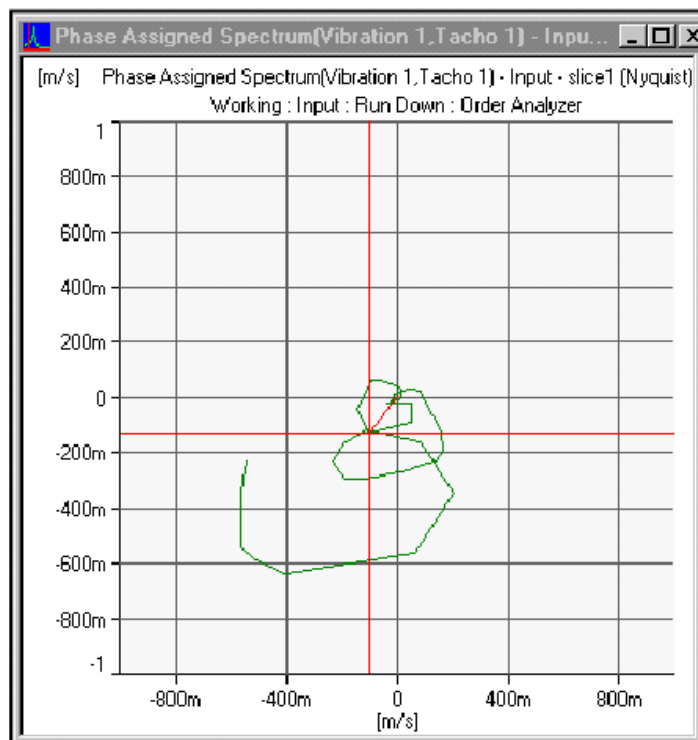


рис. 6 Диаграмма Найквиста для основного порядка вибраций генератора на этапе выбега.

В приведенном выше примере измерялось ускорение, которое затем было интегрировано до скорости. Ускорение представляет собой величину вибраций, которая сконцентрирована на высоких частотах и поэтому оказывается более предпочтительной в тех случаях, когда необходимо повысить высшие гармоники относительно доминирующих первых гармоник.

Так как в мультибуфере были сохранены порядковые спектры с указанием параметров фазы, имеется возможность построения на экране не только графика для величины порядков как функции скорости вращения, но и фазовой диаграммы, а также диаграмм Бода и диаграмм Найквиста. На рис. 6 изображена диаграмма Найквиста для основного порядка вибраций генератора. Курсор помещен на то же значение скорости вращения, что и на рис. 5. На экране можно показать значения всех курсоров: реального, воображаемого и размерного.

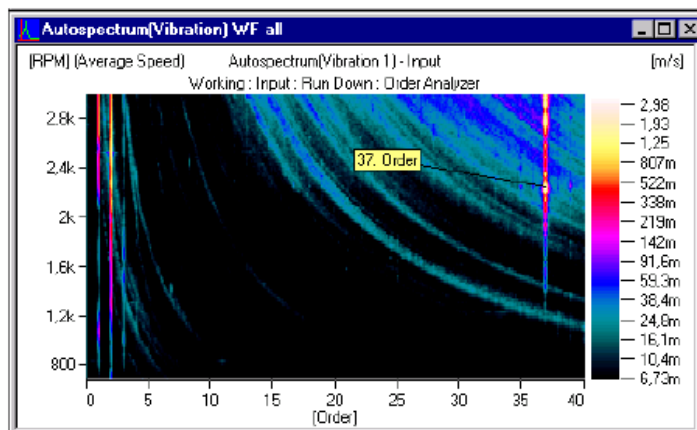


рис. 7 Функция порядкового следящего анализа, включая проверку 37-ого порядка гармоники.

На диаграмме отчетливо видны несколько пиков. Вокруг указанной гармоники отсутствуют структуры боковых частот, это указывает на то, что значение частоты вращения лопастей достаточно точно и не содержит модуляций. На рис. 8 показана зависимость между основной гармоникой и скоростью вращения. На высших гармониках пики появлялись приблизительно при тех же значениях скорости вращения, что и на основных гармониках. Это указывает на то, что причиной возникновения пиков является скорее всего связанное с изменением скорости вращения повышение турбулентности нагнетателя, чем структурные резонансные колебания.

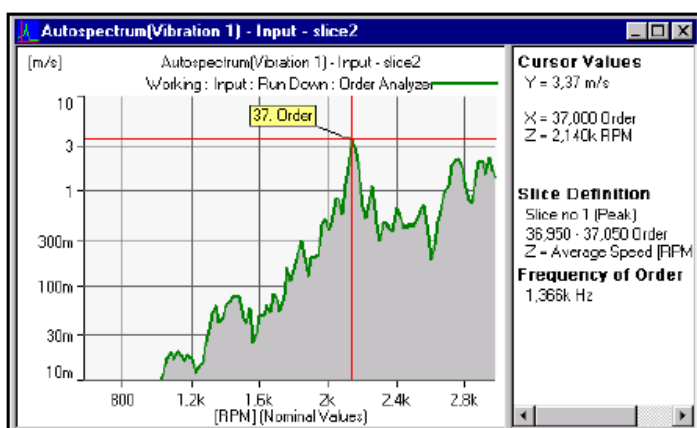


рис. 8 Частота вращения лопастей (т.е. 37-ой порядок) вентилятора на этапе выбега

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализатор PULSE, Многофункциональная система анализа 3560, обеспечивает выполнение порядкового анализа тремя методами:

- Частотный порядковый анализ
- Порядковый следящий анализ
- Следящий порядковый фильтр

Первые два из указанных методов используют данные в реальном масштабе времени, а третий представляет собой метод с заключительной обработкой данных. Результаты измерений с применением любого из трех методов выражаются выходным сигналом в виде порядкового спектра, содержащего данные о фазе.

Метод частотного порядкового анализа, использующего фиксированное значение частоты выборки, имеет ряд преимуществ, к которым относятся быстрота и простота его применения; однако этот метод имеет и недостатки: во-первых, метод частотного порядкового анализа можно использовать только в ограниченном диапазоне значений скорости вращения и, во-

вторых, этот метод не применим для точного извлечения порядков в связи с характерным для него явлением размывания составляющих.

Порядковый следящий анализ, использующий метод повторной выборки, позволяет избежать явления размывания составляющих, что делает этот метод применимым для извлечения высших порядков. Однако быстродействие рассматриваемого метода по сравнению с предыдущим ниже, что связано с необходимостью выполнения более сложных расчетов.

Система PULSE снабжена также следящим порядковым фильтром Вольд-Кальмана, применяемым для заключительной обработки временных данных. Главные преимущества этого метода состоят в том, что последний не имеет никаких ограничений по скорости прокрутки, включая дефекты зубчатой передачи, связанные со смещением зубьев, и развязку смежных и налагающихся порядков. В связи с тем, что метод имеет связь с временной областью, извлечение порядковой формы волны при помощи метода Вольд-Кальмана также выполняется без временной задержки, что особенно важно для синтеза и редактирования качества звука.

Общий вид законченной системы порядкового анализа, основанной на использовании анализатора PULSE, приведен на рис. 9.

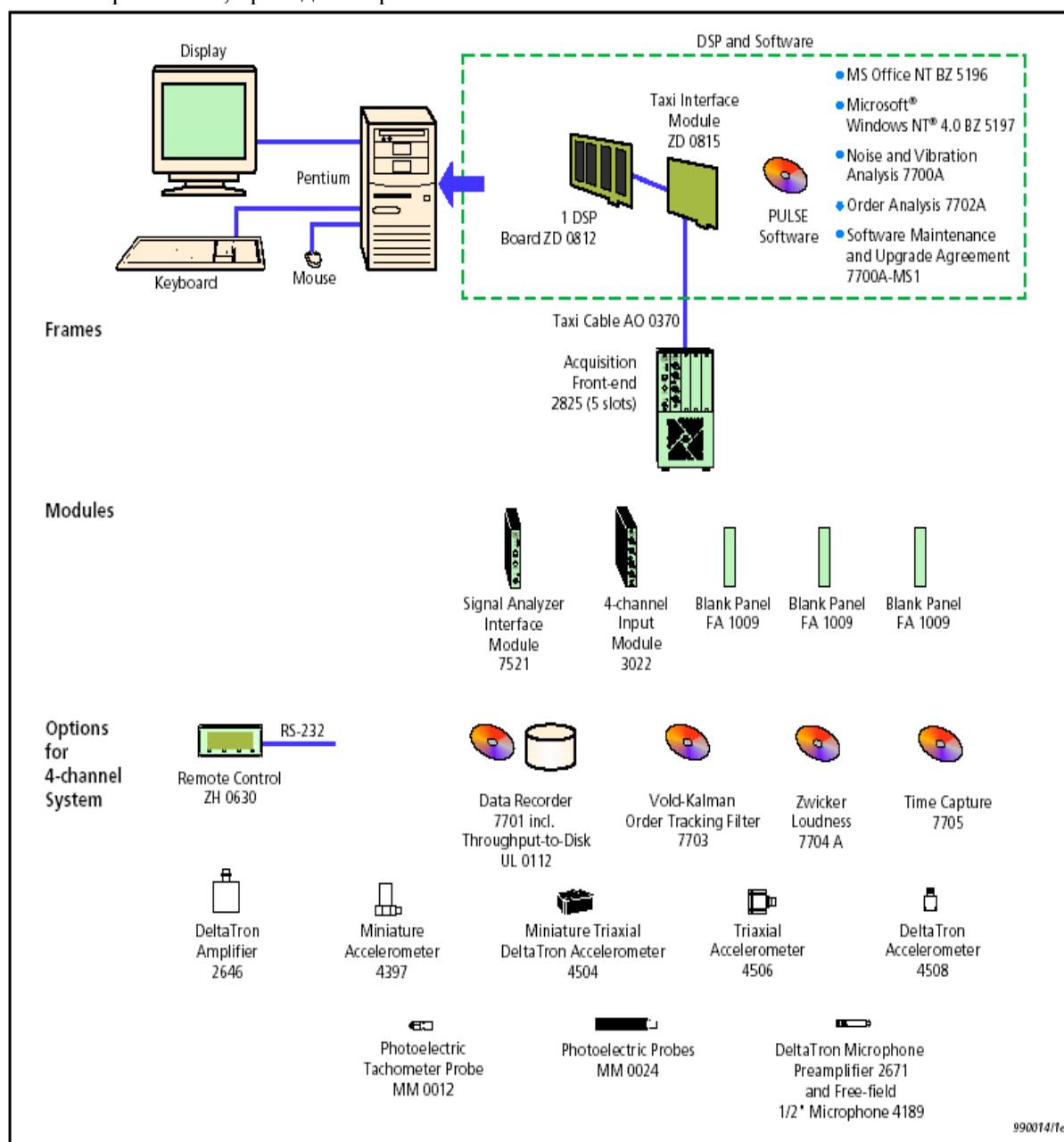


рис. 9 Общий вид четырехканальной системы PULSE, используемой для проведения порядкового анализа.

СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] С. Гейд, Х. Херлуфсен, Х. Константин-Хансен, Н. Дж. Висмер “Порядковый следящий анализ”, “Техническое обозрение фирмы Брюль и Кьер” N2, 1995.

фирма БРЮЛЬ И КЪЕР

**ВСЕМИРНАЯ ШТАБ-КВАРТИРА: ДК-2850 Нэрум, Дания Телефон: +4545800500 .
Факс: +4545801405 . <http://www.bk.dk> . Электронная почта: info@bk.dk**

Австралия (02)9450-2066 . Австрия 0043-1-8657400 . Бразилия (011)5182-8166 .
Канада (514)695-8225 . Китай (86) 1068029906 . Республика Чехия 02-67021100 .
Финляндия (0)9-755 950 . Франция (01)69906900 . Германия 06103/908-5 6 .
ГонКонг 25487486 . Венгрия (1)2158305 . Ирландия (01)450 4922 .
Италия (02)5760 4141 . Япония 03-3779-8671 . Республика Корея (02) 3473-0605 .
Нидерланды (0)30 6039994 . Норвегия 66771155 . Польша (22)8409392 .
Португалия (1)4711453 . Сингапур (65)275-8816 . Республика Словакия 421 7 544 307 01 .
Испания (91)3681000 . Швеция (08)4498600 . Швейцария 01/9436070 .
Тайвань (02)7139303 . Объединенное Королевство Великобритания (0181)954-2366 .
США 18003322040
Региональные представительства и сервисные центры всего мира.