

Needle or Square?

REPORTS AND OPINIONS

From the new Echo 37 produced Krautkramer (www.ndt.net)

Two similar instruments

The Ultrasonic Dialog Flaw Detectors USD 15 SX and USD 15 SQ do not only differ in user-defined functions, such as wall thickness data logger and tolerance monitor in the SQ version, but also in transmission technology: the USD 15 SX has, as with nearly all KRAUTKRAMER ultrasonic flaw detectors, a field-proven Needle Pulser as opposed to the SQ version which is equipped with a Square Wave Pulser.

TABLE OF CONTENTS

- Two similar instruments
- [The US Air Force](#)
- [Generation of ultrasonic pulses](#)
- [Needle pulse](#)
- [Excitation and oscillation amplitude](#)
- [The square wave pulser](#)
- [Advantages](#)
- [Probe matching](#)
- [Conclusions for the practical field](#)

The US Air Force

The story behind the changed pulser technique was started by an invitation to tender issued by the US Air Force who required a universal instrument for special applications in the field of testing and maintenance of aircraft which, amongst other things, was obliged to have a square wave pulser. This instrument is used in the many US air force bases around the world and is now available as a universal instrument for all applications. In addition to the new functions, which have been included especially for the thickness measurement, we will only be dealing with the differences in pulser design in detail here because we think that this could be a knowledge gap for ultrasonic practices. In addition to a technical understanding of the various methods of excitation, we will also discuss possible consequences for the practical field, i.e. special applications. Although the electronics used in the instruments is complicated, we will keep the explanations simple and use practical examples when going into detail.

Generation of ultrasonic pulses

Short electrical pulses of a few hundred volts are required in order to generate the ultrasonic signals in the probe elements (piezo ceramics). Each probe element has a characteristic oscillation behavior, which is determined by different parameters. The most important are:

- Element material
- Thickness
- Mechanical damping a Electrical damping and filtering
- Adhesive bonding of the delay block

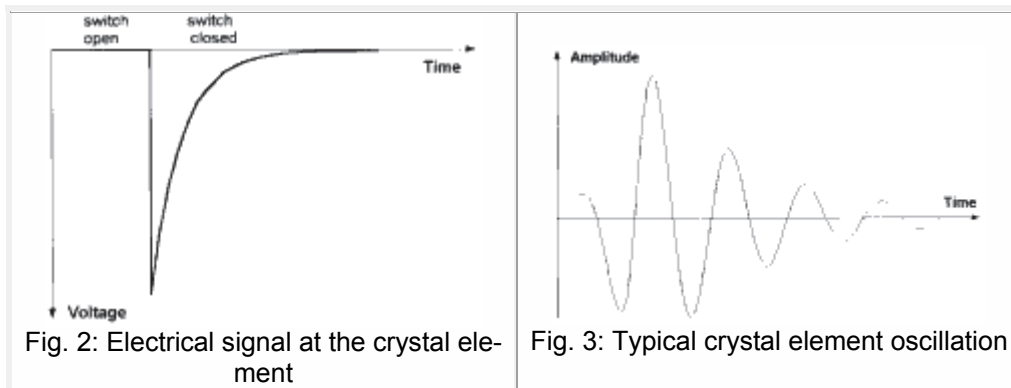
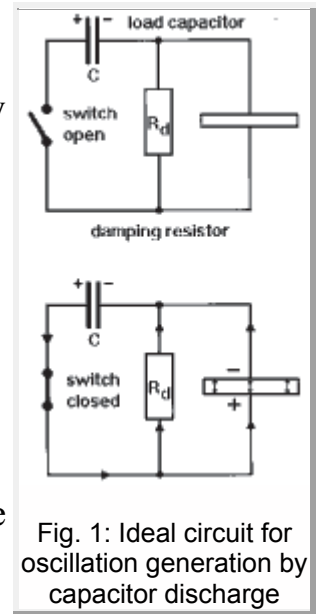
Needle pulse

The shape and amplitude of the sound pulse transmitted from the probe, Fig. 3, are dependent on the electrical excitation's parameters. With most of the ultrasonic instruments, the electrical pulser pulses are generated by capacitor discharge, Fig. 1.

When the switch is closed, there are a few hundred volts on the crystal element, which is directly excited into mechanical self-oscillation (resonance), Fig. 3. At the same time, the potential quickly decreases via the damping resistor connected in parallel, Fig. 2.

The discharge curve's time and therefore the period of the mechanical excitation of the crystal element is mainly dependent on the charging capacitor's capacity C and the damping resistor R_d . The characteristic shape of the discharge curve is referred to as a needle pulse.

In order to optimally use the many probes, C and R_d are switchable in some ultrasonic instruments. However, without this adjustment capability, each ultrasonic probe can be excited with a needle pulse. The user is therefore not burdened with additional tasks.

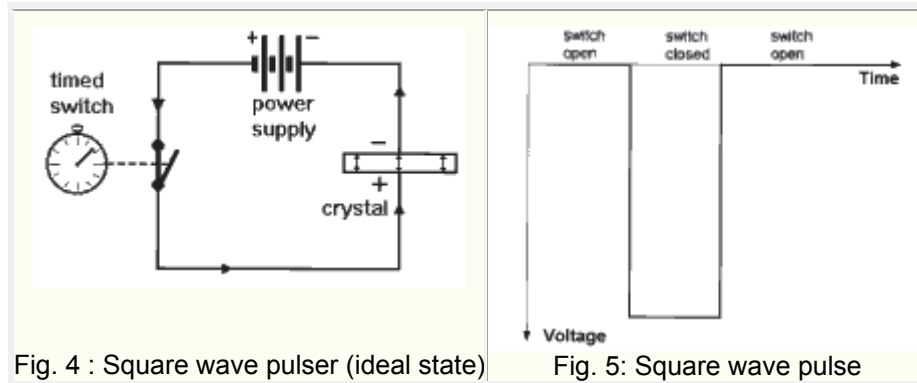


Excitation and oscillation amplitude

The elements are always excited with the same amount of energy, irrespective of which probe is connected to an instrument with needle pulse. This means that under certain conditions, elements with large masses (large diameters and low frequencies) may not be sufficiently excited. This would be the same as hitting a large church bell with a drumstick: the bell will give a weak sound. The bell will oscillate strongly (loudest) when the mass of the hammer is matched to the bell mass and the excitation period is exactly half a wavelength of the bell's resonant frequency. This fact can be quickly proven with a simple, practical test using a pendulum.

The square wave pulser

With regard to our system, this means that the duration to excitation should be set to the resonance frequency of the element so that the element oscillates optimally. This can be made electronically with the so-called square wave pulser, Fig. 4.



The complete pulser voltage is fed to the element via an adjustable time. This pulse length now determines the oscillation characteristics of the element.

- Pulse length too short: The element does not oscillate at maximum amplitude; the excitation is too weak
- Correct pulse length: The element is exactly excited at resonance (optimum)
- Pulse length too long: Element oscillation is distorted and extends in time.

Advantages

The advantages of the square wave pulser can be clearly seen at low ultrasonic frequencies (less than 2 MHz): now we are able to achieve a measureable increase in sensitivity by specially set pulse lengths. However, it should be said that the operator has one more important function, which he must correctly set when calibrating the instrument. A wrong adjustment at this point will influence the test sensitivity, resolution power and possibly also the gain linearity.

At higher frequencies, there is hardly any difference between the needle pulse and the square wave pulse because normal excitation of the element with a needle pulse excites this into resonance.

Probe matching

The parameters shown in the table below are available for optimum probe matching to an ultrasonic flaw detector.

The main differences between both modes of excitation are shaded in a grey background. With the needle, pulse pulser the excitation period can only be set in coarse steps using the charging capacity, whereas with the square wave pulser it is possible to achieve exact matching to the probe's resonance frequency. In addition to this, the excitation energy can be changed with the pulse strength. All settings at the ultrasonic flaw detector are better made in the high frequency mode of display. By doing this, the effect on the pulse shape can be assessed much better.

Function	Range	Description	Needle pulse	Square wave pulse
Damping	Pulser	Electrical resistance parallel to the element	Yes	Yes
Charging capacity (intensity)	Pulser	Determines the discharge curve	Yes	No
Pulse strength	Pulser	Preselection of the pulser voltage	No	Yes
Pulse length	Pulser	Duration of excitation	No	Yes
Frequency	Receiver	Filter for support of probe frequency	Yes	Yes

Parameters for probe matching with needle and square wave pulse:

Both systems react the same with regard to damping, Fig. 7 (narrow band probes) and Fig. 8 (wide band probes).

A wrong setting (Fig. 7a) decreases the sensitivity (by about 14 dB in this case) and distorts the pulse (ringing).

In Fig. 8a the pulse is unnecessarily extended so that the measurement resolution becomes worse.

An instrument having a square wave pulser is able to adjust the pulse shape very accurately using the pulser «pulse width function».

Fig. 9a shows the optimum setting. The pulse length has been set too large in Fig. 9b: the sensitivity is about 7 dB smaller and the pulse is unnecessarily extended.

The effect of a wrong setting is more extreme with wide band probes:

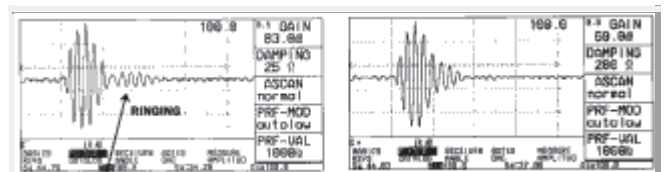


Fig. 7 a: Pulse distortion caused by wrong damping for damping

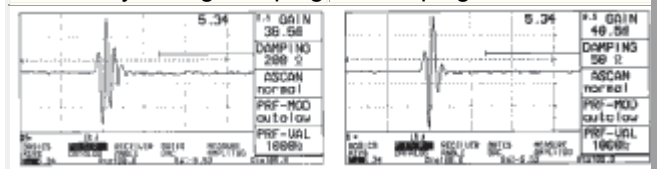


Fig. 8 a: Pulse distortion caused by wrong damping of a wide band probe
Fig. 8 b: Optimum setting for damping, narrow echo = highest resolution

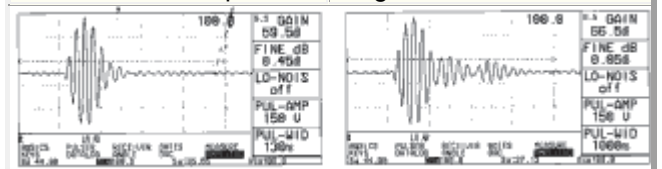


Fig. 9 a: Optimum pulse length
Fig. 9 b: Completely wrong setting



Fig. 10 a: Optimum pulse length
Fig. 10 b: "Double pulse" caused by a pulser pulse which is too wide

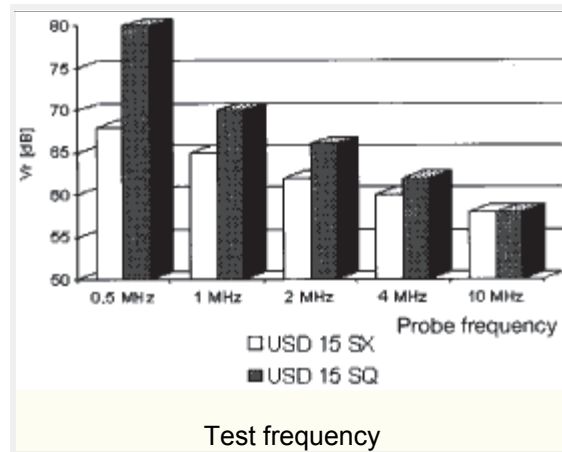
In addition to experimental optimization of the pulse length, a simple formula can be used for calculating this length with an instrument having a square wave pulser:

$$IB = 500 / f$$

with: IB - pulse width in ns,
f - probe nominal frequency in MHz

Conclusions for the practical field

With a square wave pulser, the influence of better probe matching is favorable especially with applications using lower frequencies (< 4 MHz): a direct comparison of the gain reserve is shown below:



Игольчатый или прямоугольный импульс?

(доклады и мнения)

From the new Echo 37 produced Krautkramer

Два аналогичных инструмента

Ультразвуковые диалоговые дефектоскопы USD 15 SX и USD 15 SQ не только отличаются в определяемых пользователем функциях, таких как регистратор данных толщины стенки и монитора допуска в версии SQ, но и технологией формирования импульса: USD 15 SX имеет, как почти все Krautkramer ультразвуковые дефектоскопы, хорошо проверенный на практике генератор игольчатого импульса, в отличие от SQ версии, которая оснащена генератором прямоугольных импульсов.

TABLE OF CONTENTS

- Два аналогичных инструмента
- ВВС США
- Генерация ультразвуковых импульсов
- Игольчатый импульс
- Амплитуда возбуждения и колебаний
- Генератор прямоугольного импульса
- Преимущества
- Согласование зонда
- Практические выводы

ВВС США

Предыстория изменения техники генераторов импульсов была начата приглашением к участию в торгах, выданное ВВС США, в котором требовался универсальный инструмент для особых применений в области испытаний и технического обслуживания воздушных судов, который, помимо всего прочего, был обязан иметь генератор прямоугольного импульса.

Этот инструмент используется во многих ВВС США базах по всему миру и теперь доступен в качестве универсального инструмента для всех приложений.

В дополнение к новым функциям, которые были включены специально для измерения толщины, мы в данной статье будем иметь дело только с различиями в дизайне генератора импульсов подробно, потому что мы считаем, что это может быть пробел в знаниях для ультразвуковых методов.

Помимо технического понимания различных методов возбуждения, мы будем также обсуждать возможные последствия для практической области, то есть специальные приложения. Несмотря на то, что электроника, используемая в приборах сложна, мы будем стараться вести изложения доходчиво с использованием практических примеров вдаваясь в детали.

Генерация ультразвуковых импульсов

Короткие электрические импульсы в несколько сотен вольт необходимы для того, чтобы излучающий пьезоэлемент зонда мог генерировать ультразвуковые сигналы. Пьезоэлемент зонда имеет характерное поведение в процессе колебаний, которое определяется различными параметрами. Наиболее важными из них являются:

- материал пьезоэлемента;
- толщина;
- механическое, электрическое демпфирование и фильтрация
- наличие приклеенного блока задержки.

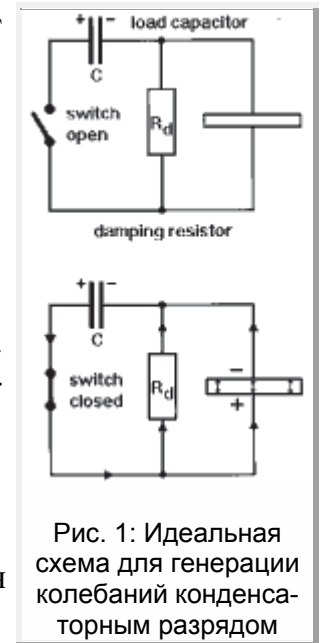
Игольчатый импульс

Форма и амплитуда УЗ-импульса, переданного зондом (рис. 3) зависят от параметров электрического возбуждения. В большинстве УЗ-приборов, импульсные генераторы игольчатого импульса (генераторы ударного возбуждения) формируют электрический импульс на кристалле пьезоэлемента зонда разрядом конденсатора (рис. 1).

Когда переключатель замыкается, несколько сотен вольт подается от заряженного конденсатора на кристалл пьезоэлемента, что приводит к возбуждению в нем механических автоколебаний (резонанс), рис. 3. Т. к. параллельно кристаллу подключен демпфирующий резистор амплитуда колебаний быстро затухает (рис. 2).

Время разрядной кривой и, следовательно, период механического возбуждения кристалла пьезоэлемента в основном зависит от зарядной емкости конденсатора C и демпфирующего резистора R_d . Характерная форма кривой разряда называется – игольчатый импульс.

Для того, чтобы можно было оптимально использовать различные зонды, C и R_d выбираются переключением в некоторых ультразвуковых приборах. Тем не менее, без этой возможности регулировки, каждый ультразвуковой зонд может быть возбужден игольчатым импульсом. Пользователь поэтому не обременены дополнительными задачами.



Амплитуда возбуждения и колебаний

Поскольку кристаллы пьезоэлемента всегда возбуждаются одинаковым количеством энергии, независимо от того, какой зонд подключен к прибору с генератором игольчатого импульса. Это означает, что при определенных условиях, пьезоэлементы с большими массами (большого диаметра и низких частот) не могут быть достаточно возбуждены. Это было бы то же самое, как ударить в большой церковный колокол барабанной палочкой: колокол даст слабый звук. Колокол будет сильно колебаться (громче всех), когда масса молотка согласована (сравнима) с массой колокола, а период возбуждения составляет ровно половину длины волны резонансной частоты колокола. Этот факт легко доказать, с помощью простого практического теста с использованием маятника (пружинного).

Генератор прямоугольного импульса

Что касается нашей системы, это означает, что длительность для возбуждения должна быть установлена на резонансной частоте элемента таким образом, чтобы элемент осциллировал в оптимальном режиме. Это может быть сделано с помощью электронной схемы генератора прямоугольных импульсов (рис. 4).

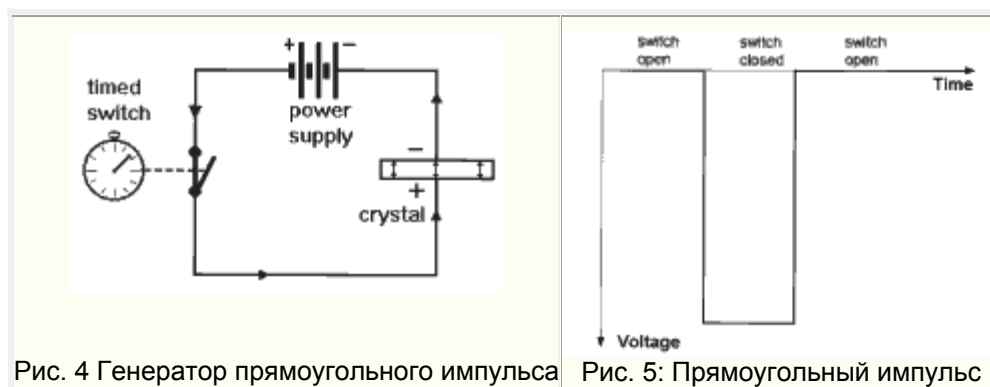


Рис. 4 Генератор прямоугольного импульса

Рис. 5: Прямоугольный импульс

Полное напряжение генератора прямоугольного импульса подается к кристаллу пьезоэлемента с помощью ключа в течение регулируемого отрезка времени – импульса (рис. 5). И эта длительность импульса и определяет характеристики колебаний пьезоэлемента:

- если импульс слишком короткий: пьезоэлемент не колеблется с максимальной амплитудой; возбуждение слишком слабо;
- если выбрана правильная длина импульса: пьезоэлемент точно возбуждается на резонансной частоте (оптимальный режим);
- если длительность импульса слишком велика: колебания пьезоэлемента искажаются и расширяются во времени.

Преимущества

Преимущества прямоугольных импульсов можно ясно видеть на низких ультразвуковых частотах (менее 2 МГц): теперь мы в состоянии достичь увеличение чувствительности измерения, специально установленной длительностью импульса. Тем не менее, следует обратить внимание на то, что у оператора появляется еще одна важная функция при калибровке прибора он должен правильно установить длительность прямоугольного импульса возбуждения. Неправильная регулировка этой функции будет влиять на чувствительность, разрешающую способность и, возможно, также линейность усиления.

На более высоких частотах, вряд ли есть разница между игольчатым импульсом и прямоугольным импульсом, поскольку нормальное возбуждение пьезоэлемента игольчатым импульсом возбуждает его в резонанс (см. рис. 11).

Согласование зонда

Параметры, приведенные в таблице ниже, помогут выполнить оптимальное согласование зонда с УЗ-дефектоскопом.

Основные различия между двумя режимами возбуждения приведены в строках с заливкой серым фоном. В генераторе игольчатого импульса период возбуждения может быть установлен только приблизительно с использованием зарядных емкостей, тогда как в генераторе прямоугольного импульса можно добиться точного соответствия резонансной частоте зонда. В дополнение к этому, энергия возбуждения может быть изменена с помощью амплитуды импульса. Все настройки УЗ-дефектоскопа лучше делать в режиме высокого раз-

решения дисплея, что позволит полноценно и намного лучше оценить эффект от той или иной формы импульса.

Функция	Узел	Описание	Игольчатый импульс	Прямоугольный импульс
Демпфирование	Генератор	Электрический резистор подключен параллельно кристаллу пьезоэлемента	Да	Да
Заряд емкости (интенсивность)	Генератор	Определяет разрядную кривую	Да	Нет
Энергия импульса	Генератор	Предустановка напряжения генератора	Нет	Да
Ширина импульса	Генератор	Продолжительность возбуждения	Нет	Да
Частота	Приемник	Фильтр для поддержки частотной полосы зонда	Да	Да

Параметры для согласования зонда в случае использования игольчатого и прямоугольного импульсов возбуждения.

Обе системы реагируют одинаково по отношению к демпфированию, рис. 7 (узкополосные зонды - УПЗ) и рис. 8 (широкополосные зонды - ШПЗ).

Неправильная настройка демпфирования в УПЗ (рис. 7а) снижает чувствительность (примерно на 14 дБ) и искажает форму импульса. Появляется «звон» в пьезопластине.

На рис. 8а импульс излишне расширен из-за неправильной настройки демпфирования, в итоге, разрешающая способность становится хуже.

В приборе, использующем прямоугольные импульсы, с помощью функции настройки ширины импульса, возможно установить очень точно ширину импульса.

Рис. 9а показывает оптимальную настройку. Длительность импульса в генераторе была установлена слишком большой (рис. 9б) при этом чувствительность уменьшилась на 7 дБ, а импульс излишне расширен.

Эффект неверной установки длительности импульса, наиболее проявляется в группе ШПЗ (рис 10b).

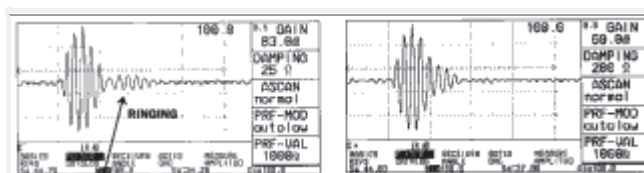


Рис. 7а: Искажение импульса из-за неправильной настройки демпфирования в УПЗ

Рис. 7б: Оптимальная настройка демпфирования в УПЗ

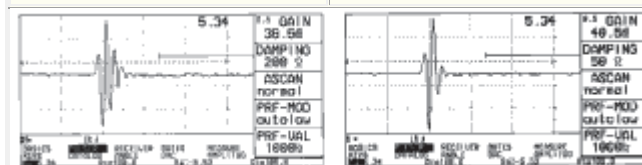


Рис. 8а: Искажение импульса из-за неправильной настройки демпфирования в ШПЗ

Рис. 8б: Оптимальная настройка демпфирования в ШПЗ. Узкое эхо = самое высокое разрешение

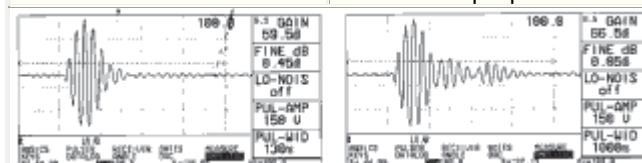


Рис. 9а: Оптимальная длина импульса в УПЗ

Рис. 9б: Полностью неправильные установки для УПЗ

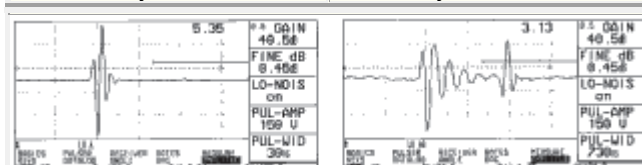


Рис. 10а: Оптимальная длина импульса в ШПЗ

Fig. 10b: "Двойной импульс" в ШПЗ, вызванный излишне расширенным импульсом от генератора

В дополнение к экспериментальной оптимизации ширины импульса, простая формула может использоваться для расчета этой ширины для прибора, имеющего генератор прямоугольных импульсов:

$$IV = 500 / f,$$

где: **IV** – ширина импульса, нс,

f – номинальная рабочая частота зонда, МГц.

Практические выводы

Использование генератора прямоугольных импульсов, оказывает лучшее влияние на согласование с зондом, особенно в случае практического использования более низких частот (<4 МГц). Прямое сравнение ультразвуковых диалоговых дефектоскопов USD 15 SX (с генератором игольчатого импульса) и USD 15 SQ (с генератором прямоугольного импульса) свидетельствует о резерве усиления, что показано на диаграмме ниже (рис. 11):

