BR0101固件开发——模数转换器AD9715

（第十周）

本周主要进行了信号发生器、任意波形发生器以及振铃现象的文献调研和归纳。

# 1 任意波形发生器的调研

## 任意波形发生器的概览

任意波形发生器（Arbitrary waveform generator，AWG）是一种能够产生电学波形的电子测试设备。我们最终想要实现的模拟通道功能应该与任意波形发生器类似。



图 1 BK 4078任意波形产生器实物图[1]

### 信号发生器的定义

信号发生器是一种能提供各种频率、波形和输出电平电信号的设备。在测量各种电信系统或电信设备的振幅特性、频率特性、传输特性及其它电参数时，以及测量元器件的特性与参数时，用作测试的信号源或激励源。

信号发生器又称信号源或振荡器，在生产实践和科技领域中有着广泛的应用。各种波形曲线均可以用三角函数方程式来表示。能够产生多种波形，如三角波、锯齿波、矩形波（含方波）、正弦波的电路被称为函数信号发生器。

### 任意波形发生器与信号发生器的关系

任意波形发生器是一种精密的信号发生器，能够在一定的频率范围、精度和输出幅度内产生任意的波形。我们常用的信号发生器一般是函数式的信号发生器。不像函数发生器只能产生少量的几种特定的波形，任意波形发生器允许用户通过多种方式指定一个波形的来源。一个任意波形发生器通常比函数发生器贵而且常常有更小的带宽。常用于高端的设计和测试中。[2]

综上所述，信号发生器比任意波形发生器的范畴更广；任意波形发生器比信号发生器产生的波形种类更多、应用更灵活、带宽更小、价格更贵、技术更复杂。

### 任意波形发生器的功能特点

#### 波形重复性★

可以产生重复的波形，也可以产生单次的波形

#### 应用方式

将产生的波形注入待测器件，分析产生的结果

#### 波形产生★

波形可以是任意的，由一系列关键点定义

任意波形发生器产生的信号可以在这些关键电平之间跳变，也可以采用某种方式进行插值

#### 频率限制

通常采用数字信号处理技术综合波形

最大频率一般是几GHz

输出通常采用BNC连接器，需要50或75欧姆阻抗匹配

#### 衰减

通常包含一个衰减器

#### 调制

可以用多种方式调制输出波形

#### 频率扫描▲

常常可以自动重复地在给定的上下限之间对输出信号的频率进行扫描

可以用于评估频响特性

#### 函数发生器★

AWG也可用作传统函数发生器

通常可以产生标准的波形如正弦、方波、锯齿波、三角波、噪声和脉冲

有些包含其他的内建波形如指数上升、下降、sin(x)/x等

#### 波形回显▲

有些可以将产生波形在数字或混合信号示波器上回显出来

有的是在自带的屏幕上显示出来

有的是将数据通过连接器输出

#### 多通道▲

基于DDS的AWG天然适合多通道

可以用相位增量精确控制频率

能够产生多相位正弦波

#### 动态调节

有的AWG允许用户在示波器上观察产生的波形，并进行动态调节

## ****任意波形发生器的重要特征****

* 带宽（Bandwidth）
* 通道数（No. of Channels）
* 采样率（Sampling Rate）
* 频率分辨率（Frequency Resolution）
* 信号幅度分辨率（Output Voltage Resolution）
* 输出电压范围（Output Voltage Range）
* 序列长度（Sequence length）
* 波形种类（Waveforms）
* 通信接口（Interfaces）
* 抖动时间（Jitters）

## 任意波形发生器现有成果

### 国外产品

以Tektronix（泰克）和Keysight（是德，原安捷伦）的产品为代表。

#### Tektronix AWG70001A Arbitrary Waveform Generator

#### Keysight 33622A Waveform Generator

#### Tektronix 3390 Arbitrary Waveform Generator

### 国外专利

有大量相关的专利：

$ 'patenthatabase X Trueform - Goc$ X 
X v arbitrary wavefc X Arbitrary wavefc X 33622A X W Arbitrary wavefc X 
G) patft.uspto.gov/netacg i/nph-Parser?Sect1 = PT02&Sect2=HITOFF&p= 1 &u= 1 =arbitrary&... 
English Em - Bing E] W Wikipedia 
Activities, A#ply 
Tools 
esources 
Searching US Patent Collection... 
Results of Search in US Patent Collection db for: 
TTL/arbitrary AND TTL/waveform: 56 patents. 
Hits 1 through 50 out of 56 
Final 6 Hits 
2 
3 
4 
5 
6 
7 
8 
9 
PAT. NO. 
9 780 833 
9 656 076 
9 583 907 
9 582 265 
9 503 102 
9 407 280 
9 281 898 
9 268 551 
9 248 292 
109 225 338 
Title 
De-embedding cable effect for waveform monitoring for arbitrary waveform and function generator 
Arbitrary waveform generator and neural stimulation application with scalable waveform feature and charge balancing 
System and method for generating high energy optical pulses with arbitrary waveform 
Runtime creation. assignment. deployment and updating of arbitrary radio waveform techniques for a radio waveform generation device 
Synchronization for multiple arbitrary waveform generators 
Harmonic time domain interleave to extend arbitrary waveform generator bandwidth and sample rate 
Mach-Zehnder modulator bias control for arbitrary waveform generation 
Runtime creation. assignment. deployment and updating of arbitrary radio waveform techniques for a radio waveform generation device 
Arbitrary waveform generator and neural stimulation application with scalable waveform feature 
System and method for removinq far field limitations in microwave phatanic arbitrary waveform generators 
• 
ram min 
2017/10/16 

图 2 US Patent关于任意波形发生器的检索结果

还没有来得及细看。

### 国外科研成果

有很多相关成果，2000年以前尤其多，2013年之后也有不少：

www.baidu.com 
AWG70001a - Tektron X 
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2CS&q=arbitrary+waveform+generator&btnG=&oq=arbitrary+wave 
[5 Bing 
X v AWG70001A price-G X 
a kbitraykvaveform gev X 
3390 Arbitrary Wavefc X 
English 
Google Scholar 
arbitrary waveform generator 
C?] W Wikipedia 
esources 
Activities 
ramming 
My profile 
Articles 
Any time 
Since 2017 
Since 2016 
Since 2013 
Custom range. 
Sort by relevance 
Sort by date 
include patents 
include citations 
Create alert 
About 169,000 results (0.09 sec) 
Arbitrary waveform generator 
FA Blackmon - US Patent 1993 - Google Patents 
An arbitrary waveform generator is capable of producing pulse or continuousaveform 
signals It utilizes an EPROM that sends out selected stored digital signals under control of a 
microprocessor and auxiliary equipment comprised of a clock and an address sequencer A 
99 Cited by 13 Related articles All 6 versions 
Adaptive RF-photonic arbitrary waveform generator 
J Chou, Y Han, 8 Jalali - IEEE Photonics Technology Letters, 2003 - ieeexplore.ieee.org 
Abstract: Optical and radio-frequency waveforms with wide-band arbitrary modulation are 
generated using spectral shaping of a supercontinuum source followed by wavelength-to- 
time mapping. Adaptive computer control is used to mitigate the nonideal features inherent 
99 Cited by 347 Related articles All 1 5 versions 
Toward a photonic arbitrary waveform generator using a modelocked external 
cav ty semiconductor laser 
T Yilmaz, CM DePriest, T Turpin... 
- IEEE Photonics 2002 - ieeexplore.ieee.org 
Abstract: We propose an architecture for photonic arbitrary waveform generation where the 
phase-locked longitudinal modes of a 124-GHz fundamentally modelocked external cavity 
semiconductor laser are individually modulated. We report photonic synthesis of microwave 
99 Cited by 134 Related articles All 4 versions 
Arbitrary waveform generator 
A Machida, M Hasegawa, I Koga - Conference, 1991 IMTC-91 1991 - ieeexplore.ieee.org 
Abstract VA description is given ofthe AG 1200, an arbitrary waveform generator that easily 
creates complex, periodic and transient, high-frequency waveforms that would be 
impossible to generate using conventional oscillators or function generators. The system 
[PDF] researchgate_net 
Tektronix 3390.pdf 
Tektronix AWG7....pdf 
Keysight Techno... .pdf 
Keysight 
Truef... 
My library 
21:34 
2017/10/16 

图 3 Google Scholar关于任意波形发生器的检索结果

以下面的论文为例：

#### A scalable, fast, and multichannel arbitrary waveform generator

### 国内产品

以普源精电和数英仪器为例。

#### 普源精电DG5000任意波形发生器

#### 数英仪器TFG3900A系列函数/任意波形发生器

### 国内科研

有很多相关的成果：



图 4 百度学术关于任意波形发生器的检索结果

根据中国知网显示，任意波形发生器的研究也有一定的学术关注度



图 5 CNKI任意波形发生器学术关注度趋势图

还有待进一步调研。

### 对比总结

### 

图 6 关于任意波形发生器的对比和总结

#### 优势

* 通道数较多，加上AD9146可以达到8个通道，每个通道可以单独调节
* 可以实现很多内置波形：已有矩形波、锯齿波、正弦波、DC
* 存储空间比较大，如果使用DDR3 存储器，可以存储GB数量级的数据

#### 劣势

* 采样率可能偏低
* 输出电压分辨率不是特别高
* 阻抗匹配还有问题，存在振铃现象，信号噪声较大

## 任意波形发生器的技术原理

### DDS直接频率综合

### Keysight Trueform技术

# 振铃现象消除的调研

# 参考资料

1. Wikipedia, [Arbitrary waveform generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Arbitrary_waveform_generator)
2. Wikipedia, [Signal generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Signal_generator)