

Circuit Analysis and Maintenance of High-Voltage Generator of PANalytical XRF Spectrometer

Guohua Gao

Baosteel Special Metals Co., Ltd., Shanghai
Email: 472133@baosteel.com

Received: Nov. 29th, 2015; accepted: Dec. 19th, 2015; published: Dec. 22nd, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The X-ray tube high voltage generator is one of the core components of fluorescence spectrometer which provides high-accuracy high-voltage power supply to the X-ray tube and it is necessary to obtain high-precision analysis results. The generator includes multiple power converter (MPPC) and HT rectifiers (HT tank), which together produce a positive polarity high voltage (HT) and filament power supply current. Working principle and maintenance are described of PANalytical (formerly Philips) PW2440 fluorescence spectrometer high voltage generator.

Keywords

Fluorescence Spectrometer, High Voltage Generator, Filament Power Supply Board, Current Timeout, High Voltage

帕纳科PW2440荧光光谱仪高压发生器的电路分析和故障维修

高国华

宝钢特钢有限公司, 上海
Email: 472133@baosteel.com

收稿日期：2015年11月29日；录用日期：2015年12月19日；发布日期：2015年12月22日

摘要

X射线管高压发生器是荧光光谱仪的核心部件之一，它提供一个高精度的高压供电电源给X射线管，是获得高精度分析的必要条件。它包括多路电源变换器(MPPC)和HT整流器(HT油箱)，二者共同产生一个正极性的高压(HT)和灯丝供电电流。本文介绍了帕纳科(原荷兰飞利浦)PW2440荧光光谱仪高压发生器的工作原理及其故障维修。

关键词

荧光光谱仪，高压发生器，灯丝供电板，电流超时，高压

1. 高压发生器(MPPC)及 HT 油箱的组成部件

1.1. MPPC 主要包括以下部件：

- ◆ 线性输入控制和变换器供电
- ◆ 发生器控制
- ◆ 灯丝控制及供电电路
- ◆ 高压控制及变换器电路

1.2. HT 整流器(HT 油箱)主要包括下列部件

- ◆ HT 变压器
- ◆ 多级倍压
- ◆ 阻尼电阻
- ◆ KV 测量电阻
- ◆ 灯丝整流器和灯丝电流测量电路

2. 高压发生器的工作原理和各个部件的作用

高压发生器作用主要是提供给 X-射线管的高压和灯丝电流。它通过线性输入控制板控制和驱动可控硅模块工作，提供一个直流 400 Vdc 主电压，给灯丝及 HT 谐振器供电。灯丝供电控制板和灯丝供电板产生灯丝驱动信号，这个信号经过高压油箱整流，输出到光管灯丝。光管电流流过一个电阻产生一个电压降，最后反馈给灯丝供电控制板，以便控制灯丝电流。HT (高压)是由高压控制板和高压谐振器单元来完成。高压谐振器采用串联谐振的原理，LC 电路形成的谐振频率大约在 50 KHz，它是通过触发脉冲开关控制，每一个触发脉冲产生一个周期的谐振，其输出功率的大小是通过改变触发脉冲的比率来控制。与谐振器串联的衰减电路用于抑制不需要的谐振波形。高压阻尼电路用于防止高压驱动的不稳定性。

2.1. MPPC 控制

MPPC 是中央处理器单元的子系统，由处理器通过光谱仪的 XR-光管接口板加以控制，命令、设定和状态信号也通过这个接口板给出。

当安全电路 OK 时，它用 GONHV-和 GONFF-信号来加 X 射线管的高压和灯丝电流。

系统微处理器读出安全电路的状态及 KV 和 mA 设定值。如果安全电路状态或者 KV/mA 值超出指定的范围，则 MPPC 关闭。

2.2. 状态控制

由系统软件读出安全状态和变换器 DC 供电电压(信号 ES-OK 或者 MDCOK)。

安全状态信号通过信号(HVGEN 或者 GENON)传给系统，这个信号同时点亮 X-射线指示灯。

如果在 XR-光管接口板上的 LMPON 是真实的，安全状态信号 OK，则系统软件将使信号(GONFF-和 GONHV-)有效。系统软件也在启动时重置闪烁触发器。

由信号 ISTHV 和 ISTFF 监控 KV 和 mA 状态信号回路，测量信号的极性由信号(HVPOS-或 FFPOS-)监控。

HT 和阳极电流波动被限定在 4% 窗口内，如在范围之内，将给出准备好信号(HVRDY 和 FFRDY)。

光管闪烁电路用于监控光管的闪烁。

2.3. 线性输入控制

Ac-dc 稳压线路目的是把 ac 主电源变换成一个稳定的 400 Vdc 电压，直流输出电压由线性输入控制电路控制，此电路测量 DC 输出的波动同时控制可控硅的导通以达到稳压。并提供给

HT 谐振器和灯丝供电电路。

2.4. 灯丝供电控制

参照框图(图 1, [1]) 及灯丝驱动时序图(图 2, [1])。

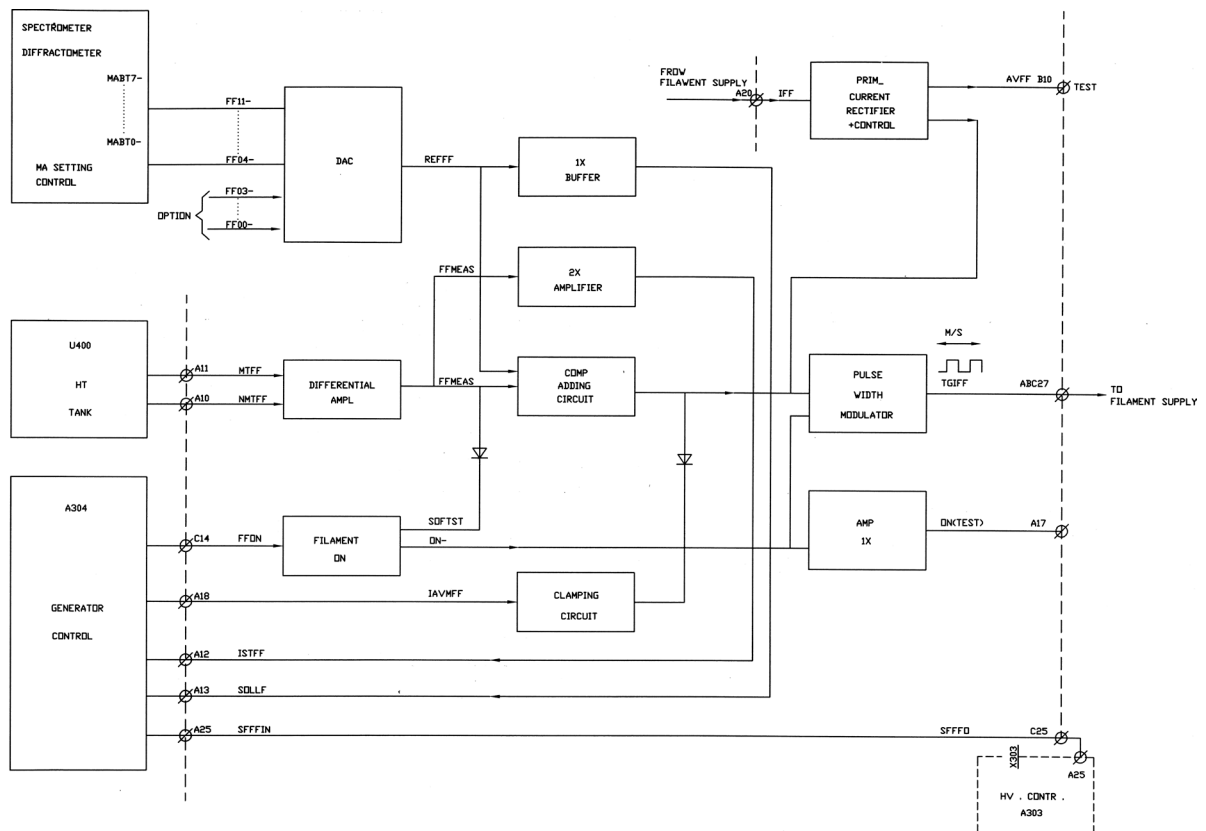


Figure 1. Block diagram—filament supply control

图 1. 灯丝供电控制板框图

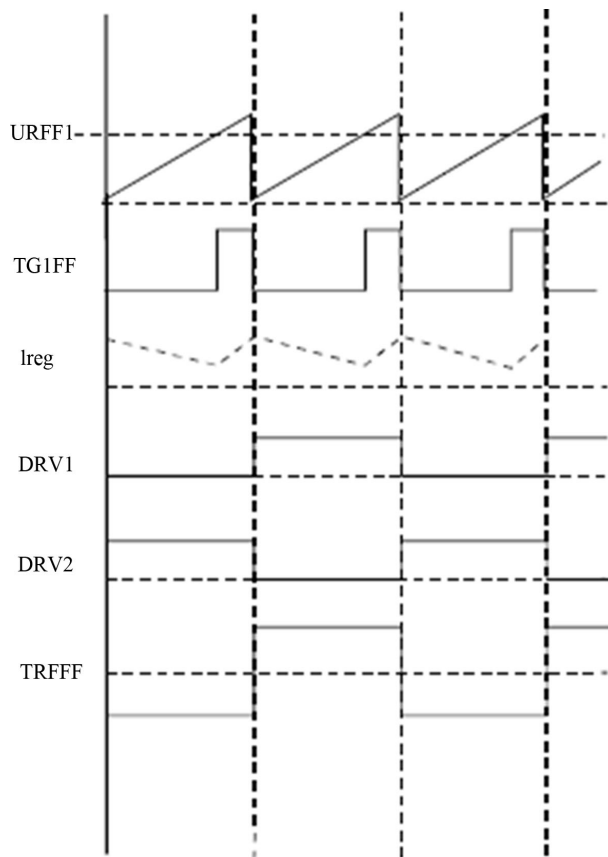


Figure 2. Filament drive timing diagram
图 2. 灯丝驱动时序图

灯丝供电控制(FSC)由信号 FFON-控制。FSC 控制可分别有二个控制环路，一个外部电压控制环路(UFF)和一个内部控制环路(IFF)。

设定目标值,经过 DAC (数字模拟转换器)变换成一个模拟参考电压(REFFF 和经缓冲的信号 SOLLFF)。参考电压与测量电压进行比较。测量电压是管电流经过一个在 HT 整流器中的一个测量电阻产生的。采用差分放大器测量经过测量电阻的真实电压。

测量电压和参考电压在一个“加法”电路中进行比较，并输出一个控制电压 URFF。

控制电压 URFF 和由灯丝供电电路变换器上来的反馈电流(IFF)送至脉冲宽度调制电路，并用来驱动 FS (灯丝供电)电路(图 3, [1])。

控制电压(URFF)和电流反馈(IFF)经比较并送至 PWM (频率 100 KHz)。

输出电流一直受控制直至二个控制信号完全相等，FS 最大输出电流限定在大约 12A。

如果测量线连接不正确(错的极性)，一个“mA not Ready”会出现(信号 FFRDY-会是“1”高电平)，则输出电流将会是很低的值。

经过一个光电耦合电路由 FSC 电路来的经脉冲宽度调制后的信号送至 FS 电路(它与低电压和主电源是电气隔离的)。PWM 信号(100 KHz)控制一个“斩波电流源”。100 KHz 的 PWM 信号被一个触发器一分为 2，用来顺序控制 MOS FET 开关桥路。

电流源送至 MOS FET 开关桥路，并被变换成一个 50 KHz 电源电流。此电流经过输出变压器到 HT 整流单元。

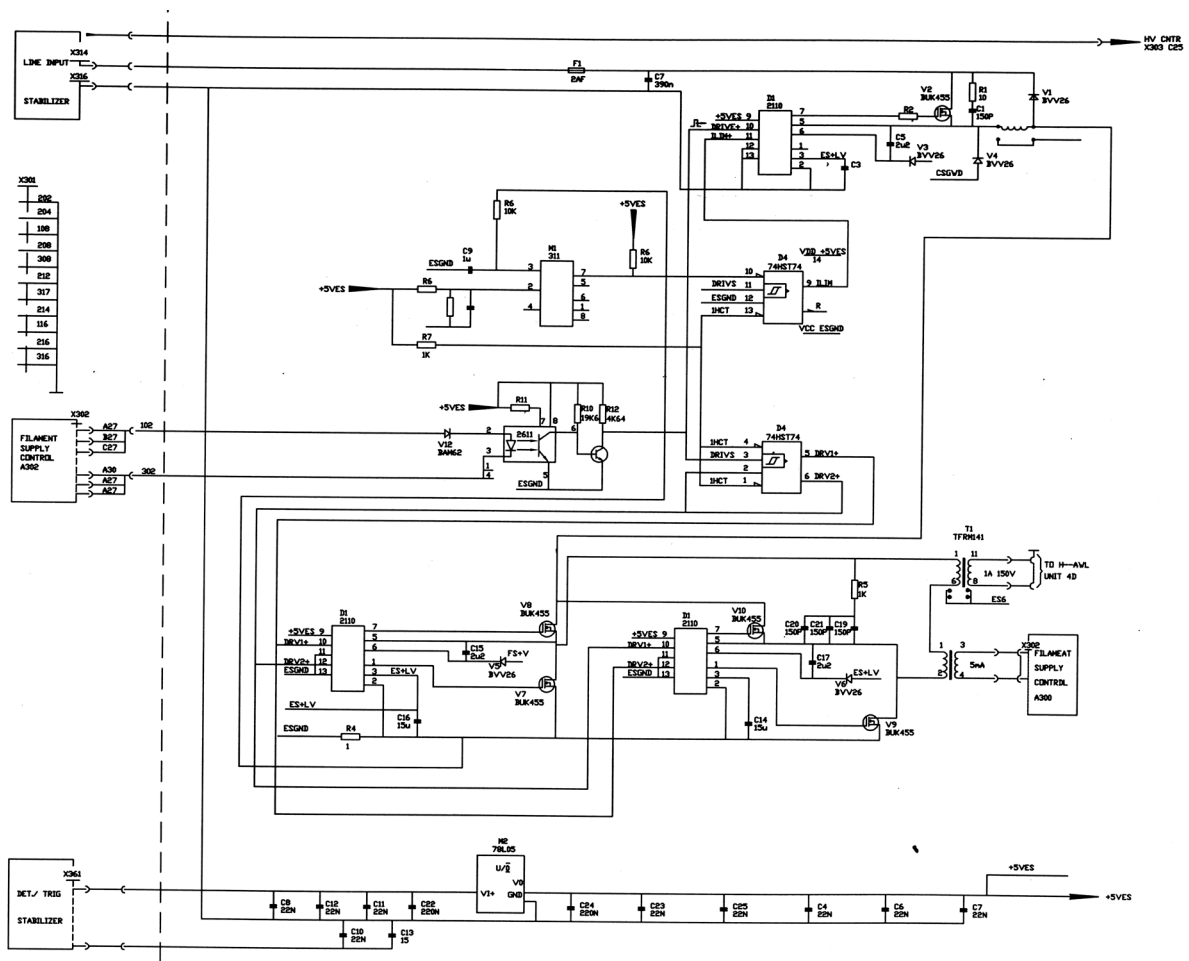


Figure 3. Circuit diagram—filament supply
图 3. 灯丝供电电路图

MOS FET 桥路的控制信号占空因素大于 50%。这是为了防止在桥路转换期间电流断开同时防止大的电压峰值。

使用一个单独的电流传感变压器产生电流反馈信号 IFF 送到 FSC。

输出电流也经过一个 1 Ω 的电阻，电压降用于限定最大的输出电流(约 1 A)。

2.5. HV 控制和谐振器变换器

2.5.1. HV 谐振器时序图(图 4, [1])

HV 控制板把测量值与设定值比较并控制串联谐振变换器(SRC)提供必要的输入电流到 HT 油箱内的 HT 变压器。

电路由二个环路控制。一个内部电流环路，那儿谐振器电流(Irect)与误差信号(URHV)进行比较；一个外电压环路，那儿测量的 KV 与参考的电压比较，差异形成误差信号(URHV)。

2.5.2. HV 控制

为保持谐振电流处于可控状态，由设定值和测量值误差形成的误差电压(URHV)要与谐振器整流的反馈电流进行比较。比较结果形成的控制电压再与信号 RSHNT 进行比较，后者(RSHNT 信号)是与触发器信号 F 相等，同时它在后沿被积分。最终结果信号 CHV-去触发脉冲触发器。

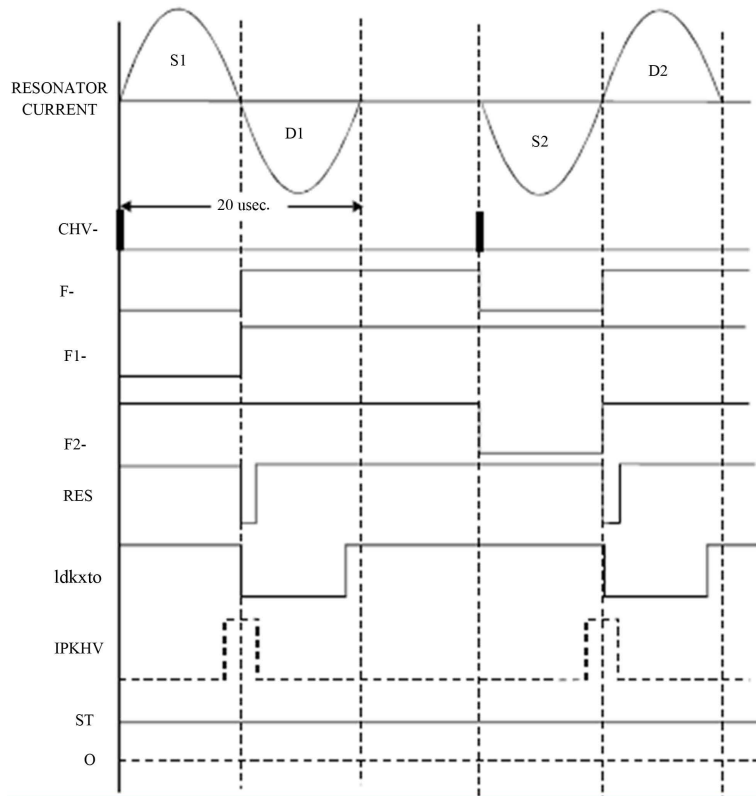


Figure 4. HV resonator timing diagram
图 4. HV 谐振器时序图

谐振器电流正、负极性的电流相位进行比较，在过零点产生一个脉冲(TQ)。

TQ 脉冲经过只有一次延时，在延时后一个复位脉冲(RES)产生并重置触发器脉冲触发。现在下一个触发脉冲可以产生。TQ 延时时间足以使 IGBT 开关从导通到不导通复位。

一串触发脉冲通过触发器触发依先后次序相继送到用触发器次序触发的谐振器开关支路，在每一个触发脉冲到来后，谐振支路被打开。

触发器脉冲送到检测和触发电路板。电路包含供给半导体开关的供电电源，它与控制电路是电气隔离的，而从谐振器来的供电与主电源是不隔离的。

电路包含一个峰值电流限幅器。在 IGBT 环导通到二极管导通的交叉点，谐振器电容上的电压经过比较，结果就形成一个电流限幅脉冲。这是防止随后的 IGBT 导通过久烧毁。

双脉冲抑制器防止第二个 IGBT 环路在同时被烧毁，从而引起短路。

IGBT'S 驱动的是一个串联 LC 谐振电路，谐振频率在 50 KHz。与 LC 电路串联的是用来产生高压的 HT 变压器的初级，变压器的初级电流检测信号用于反馈和谐振器电路的控制。

3. 高压发生器故障维修示例

故障现象：PW2440 荧光仪在 X 射线管高压、电流加至(60 KV, 66 mA)，分析试样时 X 射线管高压突然跳调。再重新开启 X 射线管高压、电流(20 KV, 10 mA)，出现高压不能开启，并出现：“mA Ready Timeout”报警信息。用 TDS (Test&Diagnostics Software)软件检测到仪器报警：“mA ready timeout”。造成 X 射线荧光仪不能工作。

故障分析：出现“mA ready timeout”报警，显然与 X 射线管的灯丝工作状态有关，可能有以下几种

情况引起:

- 1) X 射线管灯丝断了。
- 2) 高压油箱中的灯丝整流器和灯丝电流测量电路发生故障。
- 3) 灯丝供电控制电路板故障。
- 4) 灯丝供电板(Filament-supply)故障。

故障处理:

- 1) 下电, 拔掉 X 射线管灯丝插头, 测 X 射线管灯丝直流电阻为 $0.2\ \Omega$ 左右, 属正常。
- 2) 在加 X 射线管高压、电流(20 KV 10 mA)时, 测灯丝供电电压(即 X 射线管灯丝插头上的电压), 结果无直流供电电压, 这说明故障是由于灯丝的供电电压不正常引起的。
- 3) 在加 X 射线管高压、电流(20 KV 10 mA)时, 测量测灯丝供电板(Filament-supply)上 T1 变压器次级电压, 正常情况下应测量到一个读数为 117Vac 电压, 但实际并没有测量到这一电压。
- 4) 下电, 打开 MPPC, 并拔出灯丝供电板(Filament-supply)板, 发现 2A 保险丝熔断。
- 5) 检查灯丝供电板(Filament-supply)板发现型号为 BUK455 的三只场效应管 V2、V7、V8 均已击穿, 同时发现 R2($100\ \Omega$)限流电阻开路。
- 6) 检查发现 R4($1\ \Omega$)限流电阻开路, 进一步检查发现 78L05 三端稳压电路输入端(1 脚)对地(3 脚)正反向电阻均为 $80\ \Omega$ 左右, 这显然是不正常的。逐级检查电路(主要是电容), 发现多个电容 C16($15\ \mu/16\ V$)正反向电阻为 $80\ \Omega$, 显然这些电容已击穿。
- 7) 检查发现型号为 IR2110 的三片驱动模块 D1、D2、D3, 其 1、3 脚之间完全开路。根据其内部电子电路的情况, 其 1、3 脚之间不应开路, 据此判断此三片驱动模块 D1、D2、D3 也已烧坏。测量好的 IR2110 驱动模块 1、3 脚之间阻值为 $1K\ \Omega$ 。
- 8) 进一步检查发现 D 触发器 74HCT74 (D4)集成电路也异常, 特别是在通电时表面温度异常高, 最终确定该片集成电路也已坏。
- 9) 更换灯丝供电板(Filament-supply)上述所有坏的元器件后, 通电测量, 在加 X 射线管高压、电流(20KV 10mA)时, 用电压表监测灯丝供电板 (Filament-supply)上 T1 变压器次级电压, 其电压读数为 117Vac 左右属正常。进一步加 X 射线管高压、电流(60 KV 66 mA)一切正常, 老化实验也正常。自此故障排除。

4. 结论

X 射线荧光光谱仪是应用领域较广的的大型分析仪器, 其核心部件之一的高压发生器一旦发生故障, 用户一般都不得不花费昂贵的价格购买新部件, 希望本文的发表会给部分大型设备的维修人员提供一点借鉴。

参考文献 (References)

- [1] MagiX-MagiX PRO-MagiX FAST Service Manual.