

高周波電流駆動装置の昇降圧スイッチ操作信号出力システム開発

東島, 亜紀
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/6794448>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 5, pp.28-30, 2023-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

高周波電流駆動装置の昇降圧スイッチ操作信号出力システム開発

東島 亜紀

要 旨

QUEST 装置では、高周波電流駆動装置（以下、RF 装置）を用いて、プラズマの点火・加熱を行っている。実験責任者は、RF 装置のクライストロン昇降圧スイッチを、実験シーケンス内で手動操作し、節電に努める。今回、この昇降圧スイッチ操作の自動化を実現し、実験責任者の負担減を目指したい。本稿では、自動化の一端を担う実験シーケンスと連動させた昇降圧スイッチ操作信号出力システムについて紹介する。

キーワード

スイッチ操作自動化 リレー回路 Raspberry Pi Python

1. はじめに

1-1. RF 装置の昇降圧リモート制御盤

RF 装置は、装置内のクライストロンからマイクロ波を出力する。マイクロ波は導波管・真空窓を経由し、QUEST 装置の真空容器内に入射される。マイクロ波を出力させるには、QUEST 装置がある本体室の RF 装置制御盤にて、クライストロンの昇圧を行う手動操作が必要であった。

また、RF 装置では、アーク放電などのトラブルが発生すると、機器・装置保護を目的としたインターロックが働き、クライストロンの降圧が自動で行われる。プラズマ点火中の QUEST 装置は場合により X 線を発生するため、実験責任者や実験参加者は、本体室と鉛扉により隔てた制御室に常駐する。そのため、トラブル後の実験再開に向けたクライストロン昇圧には、本体室へ入室しての作業が必須であった。

クライストロン昇圧作業の負担減のため、制御室に RF 装置のクライストロン遠隔用昇降圧スイッチが永田氏により導入された^[1]。これにより、トラブル後のクライストロンの昇圧操作が容易になった。

1-2. 遠隔用昇降圧スイッチ操作による運用

QUEST 実験では、プラズマ点火準備（5 分間のカウントダウン）からプラズマ点火（ $t=0\text{sec}$ からのカウントアップ）というシーケンスを繰り返

し行っている。

節電の為に、使用しない時間帯はクライストロンを降圧しておくことが望ましい。そのため、シーケンス内において、遠隔用昇降圧スイッチによるクライストロン昇降圧が行われるようになった。これらは実験責任者による手動操作のため、昇降圧スイッチの押し忘れが時折発生した。音声による RF 昇降圧タイミング通知アプリも開発・導入され、ミスは減ったが、一連の昇降圧スイッチ操作は実験責任者の新たな負担となった。

1-3. 負担軽減のための自動化

実験責任者の負担減を目指し、図 1 のように、シーケンスと連動して昇降圧スイッチが自動操作される仕組みを導入する。遠隔用昇降圧スイッチによる手動操作、昇降圧スイッチ自動操作のどちらかを使用し、臨機応変な実験に対応する。

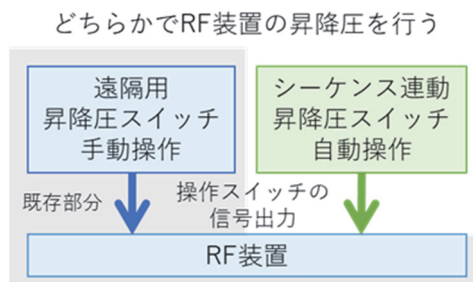


図 1 昇降圧スイッチ自動化の構想

この自動操作に係る部分は、Raspberry Pi (+リレー制御回路)を用いた昇降圧スイッチ操作信号出力システムと、このシステムの信号をRF装置側へ取り込むことにより実現できる。本システムの開発を自身が、RF装置側の昇降圧スイッチの改造を永田氏が行った²⁾。

2. システムにおける要件

2-1. クライストロン昇降圧操作と回路

制御室側で行うクライストロンの昇圧には、HVをONにする操作と、RFをONにする操作の2つが必要である。この時、HVをONにした後、RFがReady状態になるまでは数十秒かかり、その間RFをONにできない。また、RF-ONがReady状態になるまでは、数秒かかる。逆に、降圧は、RFをOFFに、HVをOFFにするが、こちらの待機時間はほぼ無い。

現場のRF装置の昇降圧スイッチでは、ONスイッチではNO (Normal Open) 回路、OFFスイッチではNC (Normal Close) 回路が利用されている。操作するクライストロンは2基あり、それぞれの昇降圧を行うため、計8個の回路を必要とする。

2-2. シーケンス情報の取得

実験において、シーケンスは図2のように、シーケンス時刻が-300secからカウントダウンされ、点火終了時間 (End Time) までカウントアップされる。正常に終了することもあれば、カウントダウンの途中でトラブル・準備不足によりシーケンスを中断することもある。また、プラズマ点火中もトラブルがあれば、End Timeを待たずにシーケンスを中断する。正常終了および中断したシーケンスは、時刻-310sec (運転条件により変更となるが、基本-300secより小さい値になる)に戻る。

実験期間中、シーケンス時刻や、End Timeなどの情報は、中央制御システム経由でUDP配信されている。UDP受信にて、これら情報を取得する必要がある。

2-3. システムの起動・停止

既存の遠隔用昇降圧スイッチを利用する場合、また、マイクロ波を入射しない実験の場合、このシステムを停止する必要がある。このシステムは、実験責任者により起動、停止を可能とする。



図2 シーケンスの概略図

3. システムの概要

3-1. システムの構成

前章を考慮し、図3のようなシステムを想定した。システムのメインは、通信機能があり、様々な信号モジュールをGPIOに接続して拡張できるRaspberry Piとし、NO, NC信号出力用に、8chのリレー制御拡張基板ADRSRU8を用意した。Raspberry PiのOSは、遠隔アクセス用サーバとして利用でき、また使用実績もあるUbuntuをインストールした。

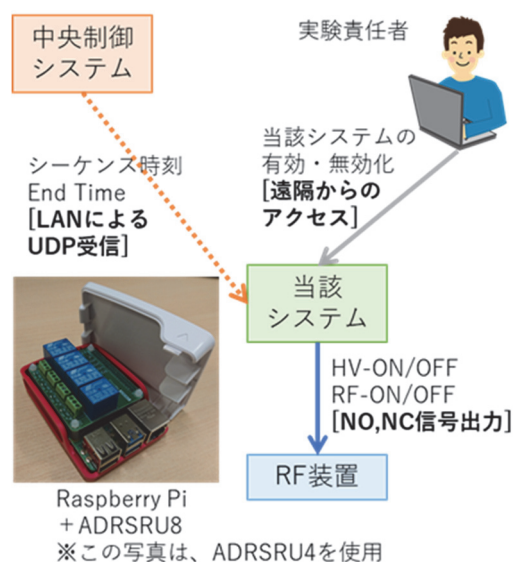


図3 システムの概要

3-2. システムの開発

中央制御システムからのシーケンス情報 (UDP) を取得する機能は、前述の「音声によるRF昇降圧タイミング通知アプリ」においても使用している。このアプリは、Pythonで構築されている。また、リレー制御用拡張基板のサンプルコード³⁾もPythonが用意されている。そのため、当該システム開発は、コード再利用による開発時間短縮も兼ねて、Pythonで行った。また、このPythonコードはサービス (デーモン) 化し、SSHなどにより遠隔からコマンドでサービスの起動・停止を行う。

次の役割を持った3つのPythonコードおよびサービス化用の1つのコードを作成した。

- シーケンス時刻を1秒に1度確認し、昇降圧スイッチ操作の判定を行うメインプログラム
- シーケンス時刻等のUDPを受信するクラス
- GPIOを操作しリレー回路をON,OFFするクラス
- サービス化用コード

3-3. 昇降圧スイッチ操作の判定条件

メインプログラム内では、昇圧時におけるReady状態までの待機時間を考慮し、シーケンス時刻およびHVとRFのON-OFF信号の状態フラグ(Status)により、操作スイッチ信号出力の判定を行っている。判定条件およびタイムチャートを、図4に示す。

4. システムの動作確認

2022年12月のQUEST実験における実際の実験シーケンスのもとで、RF装置とは未接続状態のまま、本システムの動作確認を行った。リレー回路はONの時、各チャンネルのLEDランプが点灯する。判定条件や信号出力について、目視による確認では問題なかった。また、各動作・処理をデバックログに記録していたが、ログからも動作に問題ないことを確認した。

5. おわりに

コンパクトで安価なシングルボードコンピュータやマイコンなどにより、制御機器等の自動化・計測化が容易に導入できるようになっている。今回のスイッチ操作自動化のシステム開発を通して、コスト削減や開発時間の短縮、導入の容易さを実感した。今後はマイコンにも挑戦していきたい。

また、このシステム本体であるRaspberry PiとADRSRU8は、永田氏に引き渡しRF装置内へ組み込まれるのを待つ。2023年度の実験よりクライストロン昇降圧の自動化が可能となる。今後、何らかトラブル等があれば、迅速に対処していく。

参考文献

- [1] 永田貴大：高周波電流駆動装置に係る昇降圧スイッチの遠隔操作化，九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告，2，25-27，2020。
- [2] 永田貴大：高周波電流駆動装置に係る昇降圧スイッチの自動操作化，九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告，5，25-27，2023。
- [3] <https://github.com/bit-trade-one/ADRSRU-RaspberryPi-Relay-Unit>

謝辞

本システムを開発する機会およびサポートを下さった長谷川真助教に、厚く御礼申し上げます。

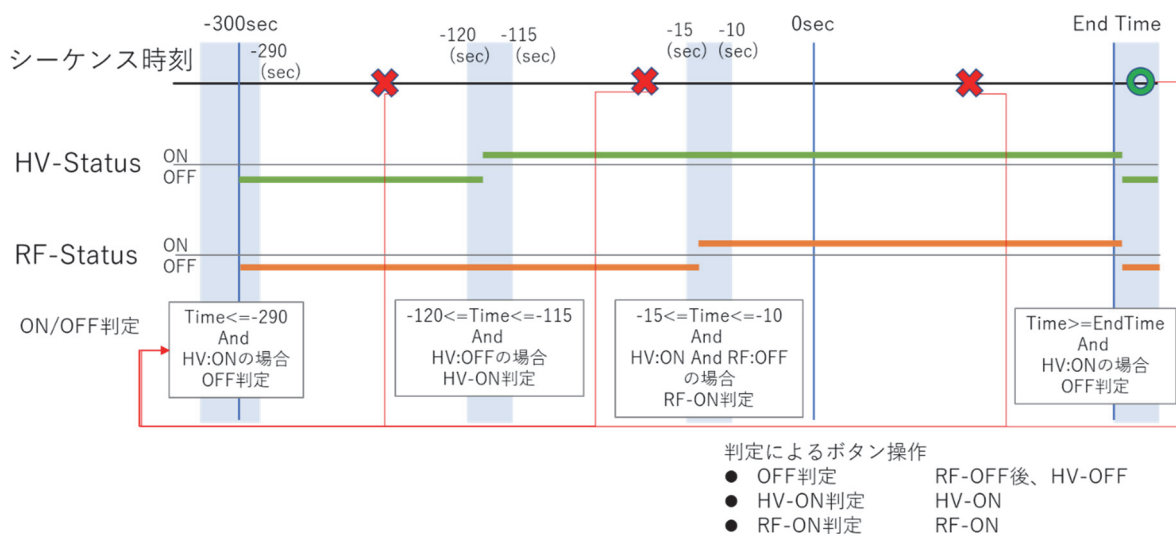


図4 昇降圧スイッチ操作の判定