

Modulation Anode Voltage Controller

Shin-ichi YOSHIMOTO

2024 年 8 月 8 日

1 クライストロンビーム電流制御

クライストロンへの RF 入力を変化させることで、空洞電圧 V_c を制御する。もし、クライストロン電源の直流入力電力を一定に保つとすると、クライストロンの RF 出力が低い時は、コレクタ損失が非常に大きくなる。そこで、消費電力の低減とコレクタの過熱防止のため、クライストロンのビーム電流を必要な RF 出力で制御する方式を TRISTAN 加速器時代から採用している。図 1 に本方式のブロック図を示す。クライストロン入力の RF 振幅はリニア検波され、関数変換器に入力される。関数変換器は、必要な RF 電力を出力するのに十分なビーム電流を与えるために、変調アノード電圧に適した関数を生成する。

この関数は、クライストロン入力が入力値が Turn Up Point で設定された値を超えるまでは Bias で設定した一定の制御を出力し、Turn Up Point を超えると Coeff. で設定する傾きを持った一次関数で制御電圧は Va Limit で設定した電圧まで増加する。この Va Limit によってアノード電圧がカソード電圧よりも低い電圧になるよう制限している。もう 1 つはリミットは、コレクタの消費電力をあらかじめ設定した値に制限するものである。図 2 に関数変換器の出力を示す。

このシステムは基本的に開ループであるが、 V_c フィードバックループの摂動源として作用する。したがって、システムの応答速度は V_c ループの応答速度よりはるかに遅くなければならない。この要件は、変調アノード電源として本質的に低速のコッククロフト・ウォルトン回路を使用しているため、自動的に満たされる。このシステムの応答速度は約 0.3 秒である。このシステムが V_c フィードバックループに与えるもう一つの効果は、ループゲインを RF パワーレベルに依存させることである。RF パワーレベルによってクライストロンビーム電流が決まり、それによってクライストロンゲインが決まり、結果的に V_c フィードバックループのループゲインが決まる。ループゲインは 5 kW から 800 kW の RF パワー範囲で約 15 dB 変化する。

クライストロンのビーム電流は、アノード電圧の $3/2$ 乗でコントロールされる、 $I_b \propto V_a^{3/2}$ 。カソード電圧 (V_k) は $\pm 1\%$ で一定であり、コレクターでの損失 (P_{cl}) をあまり大きくない範囲に納めようとするならば、RF 出力 (P_{rf}) と相関をもって、ビーム電流 ($P_{dc} = V_k \times I_b$) をコントロールする必要がある。

$$P_{dc} = P_{rf} + P_{cl}$$

ただし、このことより空胴の加速電圧 (V_c) を一定にするフィードバックループののゲインは、RF 出力によって変動するようになる (最小-最大で約 15 dB の gain が変化)。ビーム電流のコントロールのブロック図を図 1 に示す。ここで、アノード電圧のコントロール信号としては、クライストロン入力を検波した信号を用いている。この方法は MR の電子 (陽電子) ビームによるビームローディングによって RF 出力が増加する分も、自動的に V_a に反映される。反射波等のインターロックによって RF 出力が瞬間的に切られた時は、コレクターロスを軽減するために速やかにアノード電圧を下げ、ビーム電流を減少させねばならない。

参考文献

- [1] M. Ono et al., TRISTAN RF system with normal conducting cavity, KEK Internal 87-6 (1987)

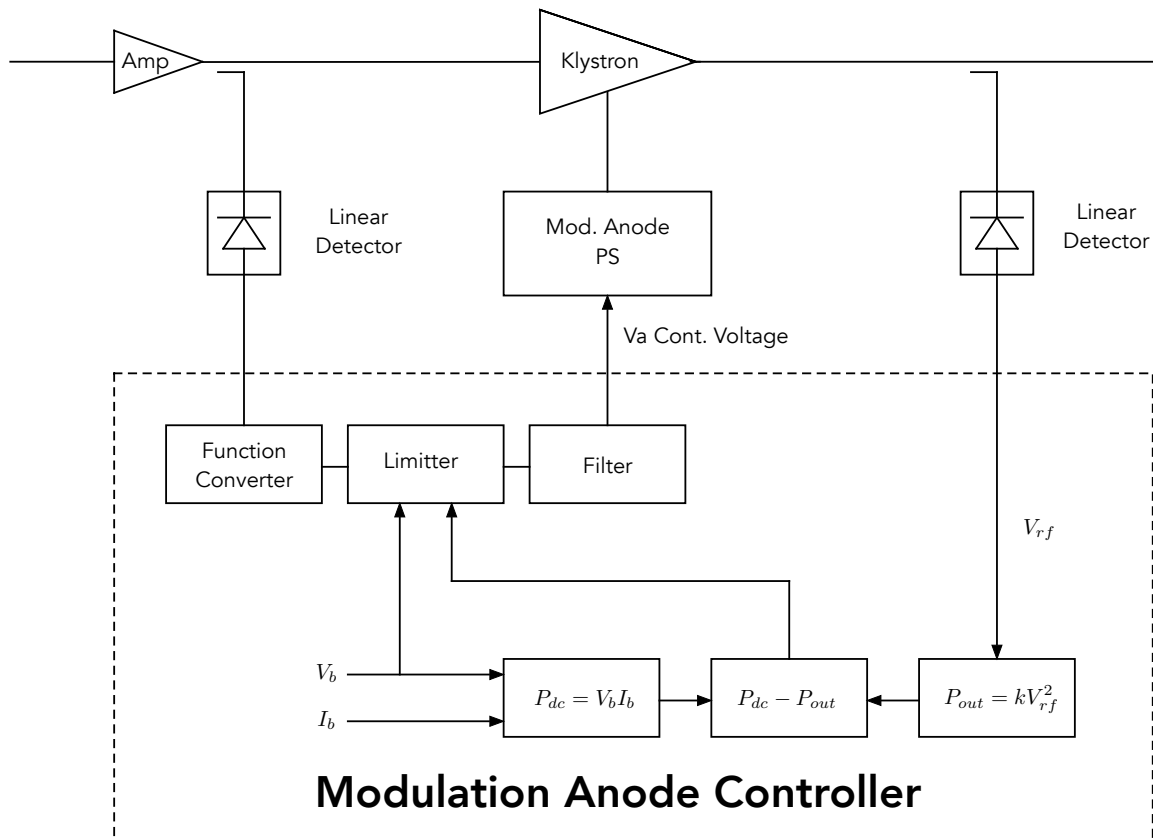


図 1 Block diagram of the klystron beam-current control system.

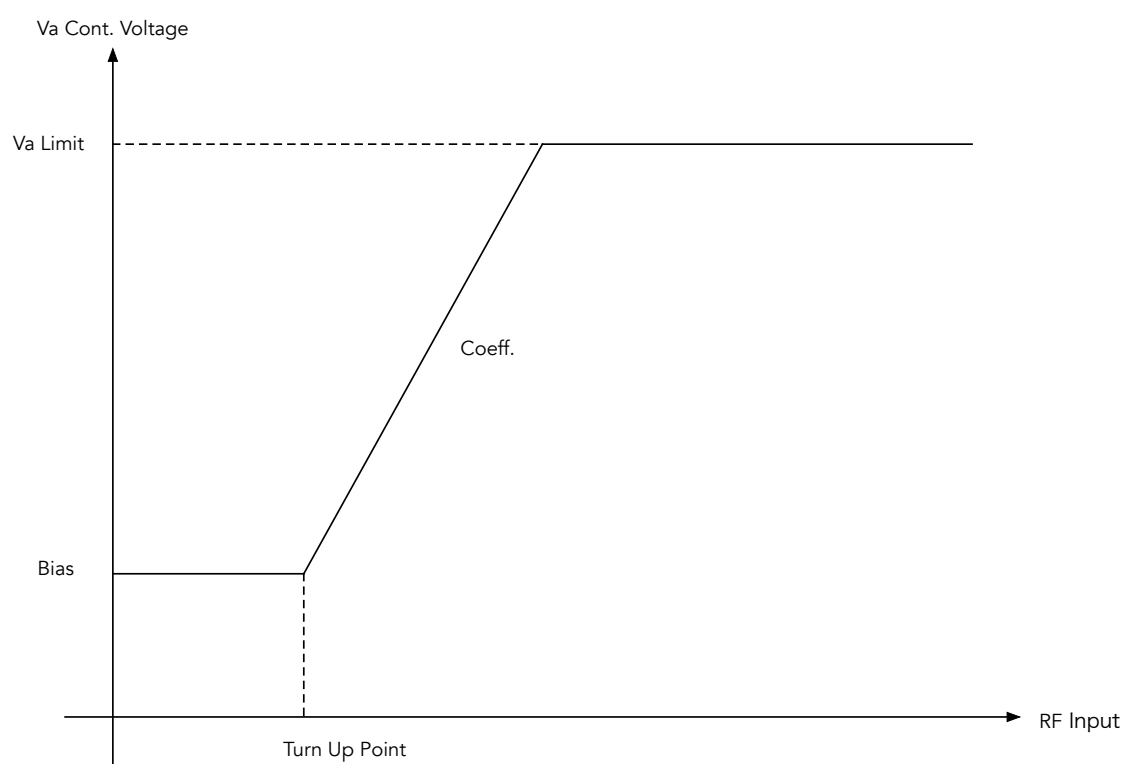


図 2 関数変換器の出力