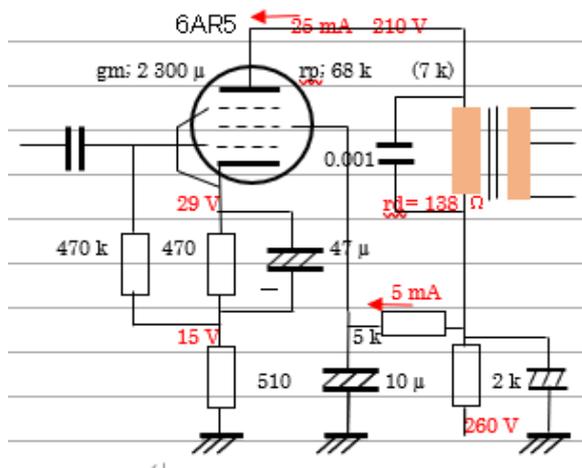


10. 電力増幅管 6AR5 電流フィードバックの考察 (2017.11.06/2022.03.10 追記改訂)

参考文献 2) の 127 頁によれば, “一般にトランス結合には NFB は向かない” と記載されている。カソードが電解コンデンサで音声信号に対して 510 Ω に接続された電力増幅段が示してあり, 信号によるプレート電流でカソードに電圧が発生し, グリッド~カソード間電位が増すためフィードバックがかかる回路 (Fig.10-1) の説明があるところである。



rd ; 出力トランス一次側直流抵抗値

Fig.10-1 6AR5 周辺回路

〈考察〉

音声信号周波数が低い場合と高い場合に
分けて考える。Zc = |1/jωc| とする。

① 低い場合 (10 Hz)

Zc = 338.6 Ω で 470 Ω とで 196.8 Ω

② 高い場合 (10 kHz)

Zc = 0.338 6 Ω で同様に 0.338 Ω

510 Ω がある場合, 信号の交流分によるプレート電流変化でカソードに生ずる電圧がグリッドに対して逆位相になり, 電流フィードバックがかかる。

その一方, 同頁に続いて “この場合は相当な効果がある” と記載があるが, 何がどう有効なのかの記述はされていない。一般的な効果のゲイン低下する分だけ周波数特性が改善することか?

何を言わんとしているのか折に触れて調べていたが, 最近漸く見つけた参考文献 3) 「ラジオ回路ハンドブック 昭和 29 年 9 月 第 7 版」の 134 頁に以下の記載あった。

“電流フィードバックでは出力管の内部抵抗が見掛け上大きくなり, スピーカの共振点での共振を強める不利があるので, 出力管に使用するにはあまり適当ではない。”

上記を「カソード接地増幅の等価回路」で計算してみると次のようになる。

内部抵抗 $rp' = rp + (1 + \mu) \cdot Rk$, 帰還率 $\beta = Rk / RL$, 増幅度 $A_0 = \mu \cdot RL / (rp + Rk + RL) \cdot 10^{-1}$
上記例) $rp = 68 \text{ k}\Omega$, $Rk = 510 \text{ }\Omega$, $RL = 7 \text{ k}\Omega$, $\mu = 100^{\text{4)}$;

$$rp' = 68\,000 + (1 + 100) \times 510 = 119.5 \text{ k}\Omega, \quad \beta = 510 / 7\,000 = 0.073, \quad A_0 = 9.27$$

ここで $A = A_0 / (1 + \beta \cdot A_0)$ から

$$A = \mu \cdot RL / \{rp + (1 + \mu) \cdot Rk + RL\} \quad \dots \dots \dots 10-2$$

$$= 100 \cdot 7\,000 / \{68\,000 + (1 + 100) \cdot 510 + 7\,000\} = 5.533 \quad (14.85 \text{ dB})$$

よって, $F = 20 \log (1 + \beta \cdot A_0) = 20 \log (1 + 0.073 \times 9.27) = 4.49 \text{ dB}$ (フィードバック量)

出力インピーダンスは $Z_0 = rp' // RL$ で $rp' \gg RL$ からより RL に近づくため, 歪率が最も低下する最適負荷値の 7 kΩ に近づくが, それが共振を強めることになるのだろうか?

また, 参考文献 2) の記述にも係わらず Fig.10-1 のような回路を見かけないのは, それほど効果がないからか。いずれ周波数特性測定などで明らかにしようとする。

2) 電子工作バイブル 乱狂太郎著 アクションバンド電波 8 月号別冊 2002.8.01 発行

3) ラジオ回路ハンドブック 萩原 進著 オーム社 昭和 29 年 9 月 第 7 版

4) 仮に 100 とした ($gm = 2\,300 \mu\text{0}$, $rp = 68 \text{ k}\Omega$ では $\mu = gm \cdot rp$ から $\mu = 156$ となる)。

以下に、前頁 10-2 式に代わる本来の式を得る演算過程を示す。

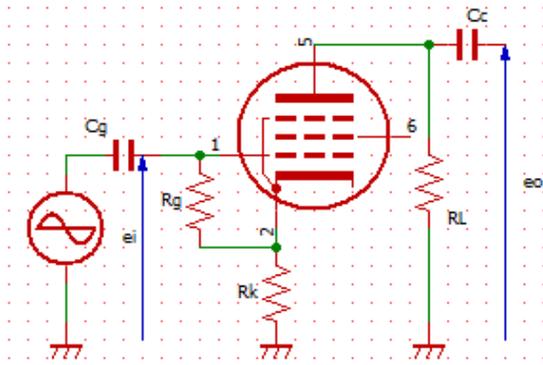


Fig.10-2 電流帰還回路

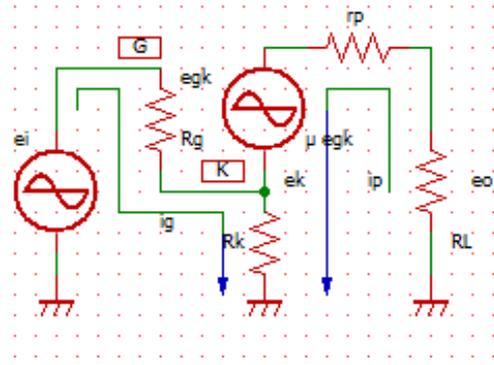


Fig.10-3 等価回路

電流帰還回路 Fig.10-2 の等価回路が Fig.10-3 で、次の各式が成立する。

$$-R_g \cdot i_g - R_k \cdot i_g - R_k \cdot i_p + e_i = 0 \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$-R_k \cdot i_g - (R_L + r_p + R_k) \cdot i_p + \mu e_{gk} = 0 \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

$$e_k = R_k \cdot i_g + R_k \cdot i_p \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

$$e_i = e_{gk} + e_k \quad \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

①と②から i_g , i_p について解くと

$$i_g = \frac{e_i(R_L+r_p+R_k) - \mu e_{gk} \cdot R_k}{R_g(R_L+r_p+R_k) + R_k(R_L+r_p)} \quad \dots \dots \dots \textcircled{5}, \quad i_p = \frac{(R_g+R_k) \cdot \mu e_{gk} - e_i \cdot R_k}{R_g(R_L+r_p+R_k) + R_k(R_L+r_p)} \quad \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

⑤, ⑥を③に代入して

$$e_k = \frac{e_i \cdot R_k(R_L+r_p) + R_k \cdot R_g \cdot \mu e_{gk}}{R_g(R_L+r_p+R_k) + R_k(R_L+r_p)} \quad \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

⑦を④へ代入すると

$$e_i = e_{gk} + \frac{e_i \cdot R_k(R_L+r_p) + R_k \cdot R_g \cdot \mu e_{gk}}{R_g(R_L+r_p+R_k) + R_k(R_L+r_p)} \quad \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

よって、 e_i と e_{gk} の関係及び入力インピーダンス $Z_i (=e_i/i_g)$ は

$$e_i = e_{gk} \frac{R_g(R_L+r_p) + R_k(R_L+r_p) + (1+\mu)R_g}{R_g(R_L+r_p+R_k)} \quad \dots \textcircled{9}, \quad Z_i = \frac{\{R_g(R_L+r_p+R_k) + R_k(R_L+r_p)\} \{R_g(R_L+r_p) + R_k(R_L+r_p) + (1+\mu)R_g\}}{(R_L+r_p+R_k) \{R_g(R_L+r_p) + R_k(R_L+r_p) + (1+\mu)R_g\} - \mu R_k R_g (R_L+r_p+R_k)}$$

出力電圧 e_o は、 $e_o = i_p \cdot R_L$ から

$$e_o = i_p \cdot R_L = \frac{(R_g+R_k) \cdot \mu e_{gk} - e_i \cdot R_k}{R_g(R_L+r_p+R_k) + R_k(R_L+r_p)} \cdot R_L \quad \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

⑨を変形して⑩の e_{gk} に代入すると

$$e_o \{R_g(R_L + r_p + R_k) + R_k(R_L + r_p)\} = \left\{ \frac{(R_g+R_k) \cdot R_g \cdot (R_L+r_p+R_k) \cdot \mu}{R_g(R_L+r_p) + R_k(R_L+r_p) + (1+\mu)R_g} - R_k \right\} \cdot R_L \cdot e_i \quad \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

以上から、入出力電圧の関係式⑫を得る。

$$e_o = \frac{\{(\mu-1)R_k \cdot R_g(R_L+r_p) + \mu \cdot R_g^2(R_L+r_p+R_k) - R_k^2(R_L+r_p+R_g)\} \cdot R_L}{\{R_g(R_L+r_p) + R_k(R_L+r_p) + (1+\mu)R_g \cdot R_k\} \{R_g(R_L+r_p+R_k) + R_k(R_L+r_p)\}} \cdot e_i \quad \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

上⑫式に $\mu=100$, $r_p=68 \text{ k}\Omega$, $R_L=7 \text{ k}\Omega$, $R_g=470 \text{ k}\Omega$, $R_k=510 \text{ }\Omega$ を代入すると $e_o = 5.535 e_i$ となり 10-2 式の結果と一致する。

よって Fig.10-2 の考察は、前述の 10-1 式と周辺関係式で近似できると考えられる。