

原成〔74〕-005
内 部

科学技术成果报告

JKF-1型通用快放大器的 研制工作报告

章 毅 杰

中国科学院原子能研究所
一九七四年四月

JKE-1 型通用快放大器的研制工作报告

一、前 言

本放大器是通用快放大器，是谱仪系列化项目中放大器的一个品种，主要用途是与计数电路，时间符合电路配合，放大快脉冲讯号。

前几年见载于科技资料的快放大器，通常是由2—3个晶体管组成的反馈环的级联而成的。这种单级放大环，具有电压增益5—10倍，输入输出阻抗50欧姆，输出动态范围1—3伏，上升时间1—2毫微秒，它是由截止频率高达 1×10^8 周/秒的晶体管获得的，一个两级快放大器，它具有如下性能：增益100倍，上升时间2.4毫微秒，动态范围0—2.5伏，非线性0.2%〔1〕。

另一种是电流型放大器，在放大器的主要通路不出现明显的信号电压的变化，因此，几乎避免了晶体管的结电容和分布电容对上升时间的影响，充分发挥了晶体管增益带宽的潜力。C. J. RUSH 于一九六四年发表了采用这种技术制作的增益为1580倍，上升时间3.5毫微秒，非线性为1.2%的五级快放大器〔2〕。

国外商品，一九六九年达到增益10或100倍可选择，上升时间4毫微秒，输出幅度200毫伏—2伏，非线性 $\leq 5\%$ 。

最初系列化下达的快放大器指标是：增益2—512倍连续可调，上升时间 ≤ 5 毫微秒，输出幅度5伏，非线性1%，输入极性正、负

(+、-), 输出极性正(+), 输出阻抗 50 欧姆, 延迟抖动 < 0.5 毫微秒。

毛主席发出要在全党“进行一次思想和政治路线方面的教育”的指示, 在毛主席的革命路线指引下, 批判了刘少奇一类政治骗子的洋奴哲学和爬行主义,

遵照毛主席“洋为中用”

的指示, 以辩证唯物论为武器, 经过多次实验, 认识到, 除缺乏三极管, 输出幅度由 5 伏改为 3 伏外, 其它指标, 均已达到。

二、方案考虑

P. F. MANFREDI 和 A. RIMINI^[1] 提出了一种两个晶体管的反馈环的基本结构, 并且应用这种基本结构, 设计了一个由两个反馈环组成的放大器。

这种并联电压反馈放大器的基本电路如图 1 所示。晶体管 T_1 作电压放大, T_2 放大电流, C 是自举电容, 以提高线性, R_1 是输入电阻, R_2 是反馈电阻。电路可简化为图 2 所示的运算放大器的一般形式。反馈放大器的增益是由反馈电阻和输入电阻决定。

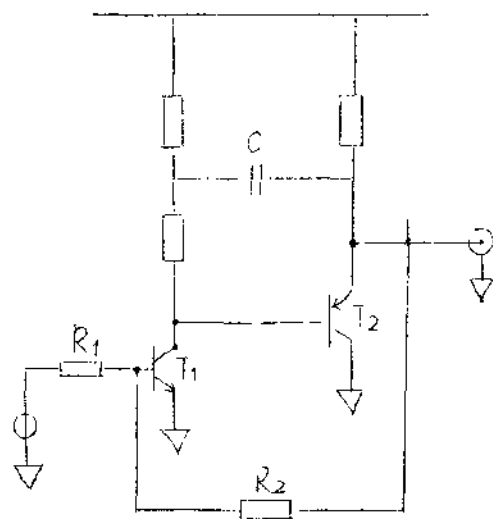


图 1、并联电压放大器基本电路

$$A_f = V_{out} / V_{in} = - \frac{R_2}{R_1}$$

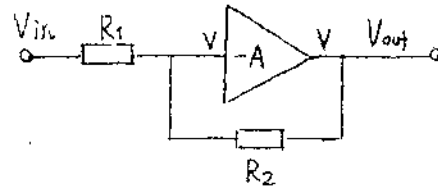


图2、运算放大器的一般形式

遵照毛主席关于“对外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜，盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化”的伟大教导，根据具体情况，批判地吸收了上述作者发表的快放大器的合理部分，通过实践，确定了如下方案：

考虑放大器要求增益2—512倍连续可调，而每个反馈环可做到5—10倍，因此，考虑采用三个反馈环，使得头级的最大增益达512倍；要求放大器的上升时间为5毫微秒，这样就要求每个环的上升时间为2—3毫微秒；级间插入两个衰减器，一个是二进制常阻抗衰减器，调节增益4、8、16、32、64、128、256、512倍可变，放在第一反馈环之前，另一个细调衰减器，设计增益范围为0.88—0.37倍，放在第二反馈环与第三反馈环之间，借以获得1—1/2倍的增益细调；为了输出匹配到50欧姆的负载，因此，增加一输出级，以提高输出能力；极性考虑：由于三个反馈环级联成的放大器，输入负脉冲，输出正脉冲，因此，增加一倒相级以应对正脉冲的放大。整个放大器的方框图如图3所示：

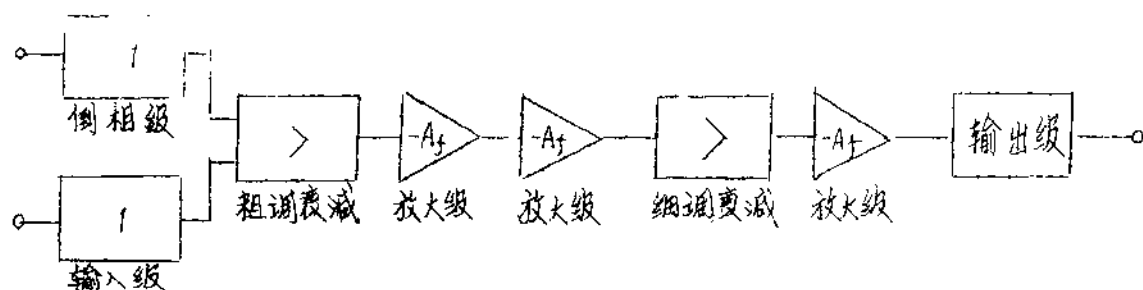


图3、放大器方框图

三、线路说明

完整的放大器的线路如图4所示(附后)

1、低电平放大级

低电平放大级有两级, 第一级由 T_6 、 T_7 、 T_8 组成, 放大负脉冲, 输出正脉冲, 由于放大器工作在单极性状态。所以, 设计时使晶体管在脉冲作用下趋向饱和状态, 既降低晶体管的静态工作电流, 又保证晶体管的频率响应。 T_6 放大负脉冲, 选用 3AG76, 增益带宽 f_T 为 750 M, T_7 、 T_8 跟随正脉冲, 选用 382D, $f_T > 700$ M, 静态工作电流设计在 2—3 毫安(文献[1]所载均为 10 毫安), T_6 的发射极交流接地, 既得直流反馈, 又可浮置基极电位, 便于直接耦合, 反馈电阻 R_{65} 设计为 1 K, 流过 3—4 毫安电流, 使得本级动态范围达 3 伏, 电位器 R_{67} 调节 T_6 基极电位, 使与衰减跟随器 T_8 射极直流电位相等, 用 R_{64} (91 欧姆) 直接耦合, $C_{25} = 5$ P, 用以加快脉冲前沿, 本级 $A_f = -11$ 。

同样考虑第二级的设计, 第二级与第一级的差别, 除了极性相反

外，动态范围亦有所增加，为5伏，由于放大正脉冲，因此， T_9 选用382E， T_{10} 、 T_{11} 选用3AG76，静态电流3—4毫安，由于动态范围增加到5伏，因此，反馈电阻采用交直流结合，直流反馈电阻 $R_{k8}=1.8K$ ，确定直流工作点， R_{k8} 与交流反馈电阻 $R_{k7}=2.2K$ 相并联成 $R_f=0.99K$ ，输入电阻 $R_{k6}=100$ 欧姆，因此本级 $A_f=10$ ，同样， $C_{35}=5P$ ，用以加快前沿，电容 C_{38} 、 C_{39} 作自举，以增加线性，电位器 R_{30} 调节 T_9 的基极电位，便与前一级直接耦合。

2、高电平级

本级设计动态范围为8伏，输出能力达5伏，为了保证后沿与前沿有和比拟的速度，将静态电流增大到4—10毫安，晶体管选用中功率管， T_{14} 为3AG95B， $f_T=750M$ ， T_{15} 、 T_{16} 为3N3E， $f_T\geq 700M$ 。其它设计考虑与第二级相同，唯极性相反， $A_f=9$ 。

3、输出级

输出级由三个晶体管： T_{17} 、 T_{18} 、 T_{19} 组成。 T_{17} （3AG95B）是共基极放大器，作隔离用，并籍小的电感负载 L_1 补偿放大器的高频性能，与 L_1 相并联的电阻 R_{30} *增加电感 L_1 的损耗，调节 R_{30} *的数值，可以获得很小上沿的波形， L_{18} 是npn型晶体管3DG12C， T_{19} 是pnp型晶体管3AG74A，两个管子的基极，发射极接在一起，组成一个互补跟随器， T_{18} 跟随正脉冲， T_{19} 跟随负脉冲，对脉冲的前后沿均有快的响应，静态电流： T_{17} 、3毫安、 T_{18} 、 T_{19} 、4—10毫安，

调节电位器 R_{63} ，使得互补跟随器射极电位为零。

4、输入级

对于负输入脉冲，输入级仅是一个普通的跟随器，用晶体管 3AG76 做成 (T_1)，工作点选在： $V_c=6$ 伏， $I_c=5$ 毫安。

对于正输入脉冲，必须经过倒相，才能适合放大器对输入极性的要求，倒相级由两个三极管 383B 组成，第一个作跟随器，第二个作倒相器，实际上，倒相器是一个全反相的共射极放大器，反馈电阻的选择，使得对正负输入增益相等。

5、衰减器

二进制常阻抗衰减器是由梯形网络组成，每个节点上的电阻值均为 200 欧姆，最末一节电阻 R_{21} 上串联电容 ($C_0=13$ P，用来平衡上面一串电阻的分布电容，以便在最大衰减档得到小上击的波形，常阻抗衰减器插在输入级与第一反馈环之间，中间用两个晶体管 T_4 、 T_5 (3AG76) 做成的缓冲级隔离。

细调衰减器由电位器 R_{62} 、电阻 R_{61} 、 R_{63} 组成分压式调节， $R_{61}=51$ 欧姆， $R_{62}=220$ 欧姆， $R_{63}=160$ 欧姆，衰减器增益范围为 0.88—0.37 倍，变化 2.38 倍，细调衰减器括在第二反馈环与第三反馈环之间，同样，用 T_{12} (3AG76)、 T_{13} (3AG95B) 作缓冲隔离。

另外，电路中， R_{31} (20 欧姆)、 R_{42} (20 欧姆)、 R_{53} (10 欧姆)

R_{67} (20欧 姆)、 R_{61} (51欧 姆)、 R_{67} (20欧 姆)、 R_{67} (10欧 姆)
 R_{61} (20欧 姆)均起防振作用。

四、结 构 与 安 装

本放大器采用系列化标准插件，面板排列如附图5所示，(附后)
整个放大器装在一块双面印刷电路板上，印刷电路板及元件安装由图
6 给出 (附后)，印刷电路板的另一面作地平面，为了减短连线，接
地良好，拨动开关 K_1 ，波段开关 K_2 ，细调增益电位器 R_6 ，均安装在印
刷电路板上，通过拉伸料、塔轮，延长轴来调节。

五、指 标 和 测 量

1、指标

输入极性：正、负 (+、-) ；

输出极性：正 (+) ；

增益：2 — 5 1 2 倍可调

粗调：分 4、8、16、32、64、128、256、512
八档。

细调：大于 $1 - \frac{1}{2}$ 范围。

输出幅度：150 毫伏—3 伏，匹配到50 欧 姆负载，最大可达
5 伏。

空度比：10 %，空度比到12 %，幅度下降10 %。

上升时间: 10—90%, 5 毫微秒。

下降时间: 10—90%, 7 毫微秒。

频宽: 60 兆周/秒

积分线性: $\leq 1\%$

温度稳定性: $\leq 1.5 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ ($10^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$)

噪声: 增益为 512 倍时, 负输入, $V_{p-p} = 50$ 毫伏,

正输入, $V_{p-p} = 80$ 毫伏。

延迟时间: 15 毫微秒

延迟抖动: < 0.5 毫微秒。

2、测试方法:

(1) 增益调节、空度比、上升时间、下降时间、噪声电平、延迟时间、延迟抖动均用快示波器观察, 从示波标度上直接读出。

(2) 积分线性测量: 用精密脉冲产生器和多道 (512) 脉冲分析器进行测量, 将放大器的增益调在 512 倍, 将仪器按图 7 连接好, 渐次改变精密脉冲产生器输出幅度, 记下精密脉冲幅度和放大器输出脉冲落在多道脉冲分析器的道数, 然后作出输入输出曲线, 求得对理想曲线的最大偏差 V_d , 根据公式:

$$\text{积分线性} = 100 \frac{V_d}{V_{\max}} \%$$

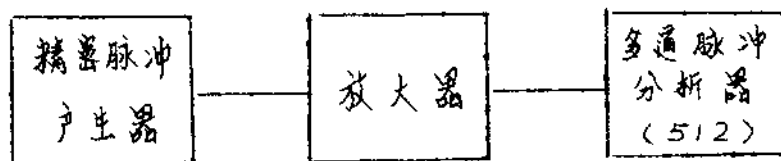


图7、测积分线性

进行计算，测得 $V_d = 1 \text{ 道} \times 20 \text{ 毫伏/道} = 20 \text{ 毫伏}$

$$V_{\max} = 3 \text{ 伏}$$

因此，积分线性 $= 0.7\% \leq 1\%$ 。

(3) 温度稳定性的测量：同上法，仅将放大器置于温箱之中，精密脉冲产生器输出固定，使放大器的输出为 3 伏，落在多道脉冲分析器的某一道中，改变温箱温度，从室温升到 50°C ，记下幅度所漂道数。

温度变化范围： $14^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$ ， $\Delta T = 36^\circ\text{C}$ 。

放大器输出漂移道数： $60 \text{ 道} - 62 \text{ 道}$ ，共 3 道。

测试中，多道是百道，道宽 50 毫伏。因此：

$$\text{温度稳定性} = \frac{3 \times 50 \text{ 毫伏}}{3 \text{ 伏} \times 36^\circ\text{C}} = 1.4 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$

六、存 在 问 题

放大器的空度比不高，仅达 10%，如果空度比增加到 12%，幅度便下降 10%，引起原因，晶体管 T_1 输出功率不够，再则，放大器三处采用交流耦合，产生基线漂移，影响波形。

如果放大器用于加速器测量，则脉冲在几个毫秒内非常密集，放大器在这种串脉冲作用的响应由于没有串脉冲产生器，所以仅用宽脉冲观察，在几百微秒的宽脉冲作用下，脉冲出现顶部下降，这主要是由于三处交流耦合产生的。

如果全部采用直接耦合, 以及输出级能有更适合的晶体管制作, 估计这两方面的性能将有较大的改进。

参 考 文 献

- [1] P.F.manfredi and A Rimini : A fast Linear Amplifier. Nucl. Instr. meth. 49(1967) 71-76.
- [2] Charles J. Rush; New Technique for Designing Fast Rise Transister Pulse Amplifiers. Rev.Sci. Instr. vol 35 No 2 1964 (149).