

GBP 变化量对典型同相运放电路的相位及增益的影响

Alan HE

主要器件	
TSV912	
TS507	

目的和作用

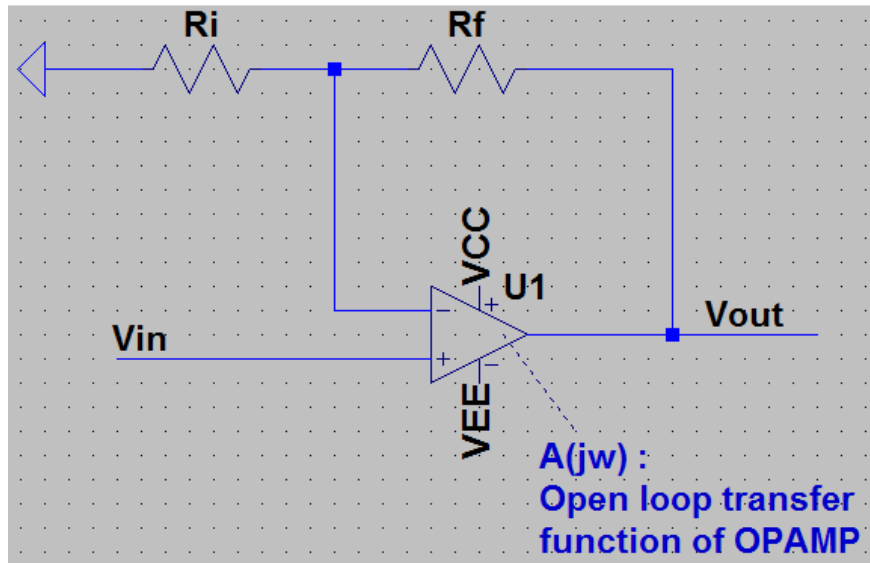
这篇文档简要介绍了运算放大器的 GBP 变化量对于典型的同相放大器电路的增益及相位的影响。

描述

GBP（增益带宽积）是运算放大器的重要参数之一，通常，手册会给出在特定测试条件下的典型值。但是，如果考虑到制程误差及不同的工作条件，GBP 可能会有较大的变化范围。

下面的简单计算给出了典型的同相运算放大器电路的相位和增益和 GBP 变化量的关系。

图 1. 典型同相放大器电路



此电路的闭环传输函数:

$$H(j\omega) = \frac{G}{1 + \frac{G}{A(j\omega)}}, \text{ with } G = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

运放的开环传输函数，即 $A(j\omega)$ 一般来说是非常复杂的，这里，为了简化计算过程， $A(j\omega)$ 假设为单极点函数:

$$A(j\omega) = \frac{k}{\frac{j\omega}{\omega_{p1}} + 1}$$

代入可得闭环传输函数:

$$H(j\omega) = \frac{G}{1 + \frac{G}{\left(\frac{k}{\frac{j\omega}{\omega_{p1}} + 1}\right)}} = \frac{\frac{kG}{k+G}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_{p1}} \frac{G+k}{G}}$$

闭环传输函数的极点为:

$$\omega'_{p1} = \frac{G+k}{G} \omega_{p1} \rightarrow f'_{p1} = \left(1 + \frac{k}{G}\right) f_{p1}$$

闭环相位和增益:

$$|H(j\omega)| = \frac{G}{\sqrt{\left(1 + \frac{G}{k}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_{p1}} \times \frac{G}{k}\right)^2}} = \frac{G}{\sqrt{\left(1 + \frac{G}{k}\right)^2 + \left(\frac{f}{f_{p1}} \times \frac{G}{k}\right)^2}} \approx \frac{G}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{p1}} \times \frac{G}{k}\right)^2}} = \frac{G}{\sqrt{1 + \left(\frac{fG}{GBP}\right)^2}}$$

$$\phi(j\omega) = 0^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{fG}{GBP} \times \frac{1}{1 + \frac{G}{k}}\right) \approx 0^\circ - \tan^{-1} \frac{fG}{GBP}$$

由于 GBP 变化量带来的相位和增益的相对误差:

$$Relative\ Error_{|H(j\omega)|} = \left| \frac{\frac{\partial |H(j\omega)|}{\partial GBP} \times \Delta GBP}{|H(j\omega)|} \right| = \frac{1}{1 + \left(\frac{GBP}{fG}\right)^2} \times \left| \frac{\Delta GBP}{GBP} \right|$$

$$Relative\ Error_{\phi(j\omega)} = \left| \frac{\frac{\partial \phi(j\omega)}{\partial GBP} \times \Delta GBP}{\phi(j\omega)} \right| = \frac{\frac{\frac{fG}{GBP}}{\left(\frac{fG}{GBP}\right)^2 + 1} \times \left| \frac{\Delta GBP}{GBP} \right|}{\tan^{-1} \frac{fG}{GBP}}$$

$$\text{if } \frac{fG}{GBP} < 0.4, \quad \tan^{-1} \frac{fG}{GBP} \approx \frac{fG}{GBP}$$

$$Relative\ Error_{\phi(j\omega)} \approx \frac{1}{1 + \left(\frac{fG}{GBP}\right)^2} \times \left| \frac{\Delta GBP}{GBP} \right|$$

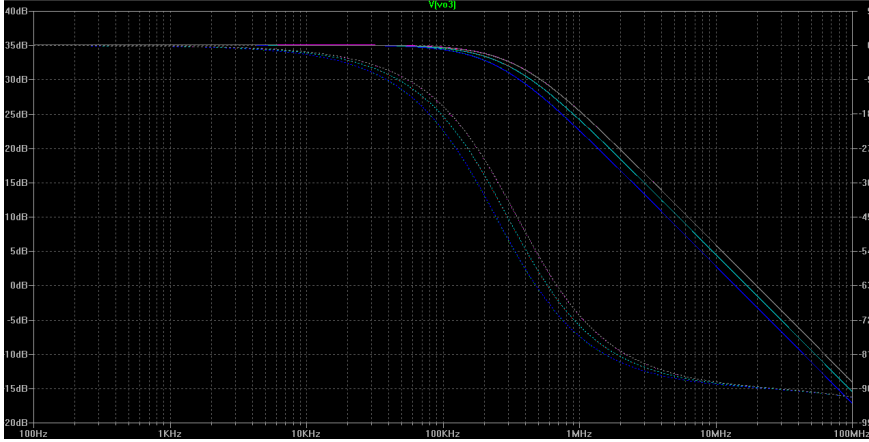
总结:

1) 显然, GBP 的变化量对于绝对相位偏移和相对相位误差都有很大影响。由于 GBP 变化量对于实际运算放大器来说是无法避免的, 所以对于那些对相位非常敏感的应用来说, 最关键的是降低 $\frac{fG}{GBP}$ 。举个例子来说, 比如 $\frac{fG}{GBP} = 0.01$ 、 $\pm 20\%$ GBP 变化量, 相位偏移再加上 GBP 变化量带来的误差约为 $0.573^\circ \pm 20\%$ 。

2) 对比相位误差, GBP 变化量对于增益的相对误差影响较小, 比如当 $\frac{fG}{GBP} = 0.5$ 、 $\pm 20\%$ GBP, 相对增益误差仅为 $\pm 0.04\%$, 但需要注意的是此时闭环电路的增益为 $0.89 * G$ 。

仿真验证:

图 2: 对于图 1 的电路, 当 $R_f=56K$ 和 $R_i=1K$ 、采用单极点运放模型、在不同的 GBP 和 AVD (即是, 公式中的 k) 的情况下, 电路的闭环响应如下:



从上面的仿真结果中可以直接读到下表的结果:

OPAMP model setting		Read from simulation results @ 51.0505KHz		Variation versus GBP=20MHz, k=32K	
GBP	k	G	Phase	Gain variation	Phase variation
14MHz	32K	55.694487	-11.81	-1.073%	41.947%
17MHz	32K	56.073442	-9.77	-0.400%	17.428%
20MHz	32K	56.298681	-8.32	0.000%	0.000%
14MHz	10K	55.484933	-11.76	-1.445%	41.346%
17MHz	10K	55.859597	-9.73	-0.780%	16.947%
20MHz	10K	56.082258	-8.29	-0.384%	-0.361%

支持文档

相关的设计支持文档
LTSpice tool
文档
TSV507
TSV912

版本历史

日期	版本	变更
2017年6月20日	1	初始版本

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司 (“ST”) 保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。本文档的中文版本为英文版本的翻译件，仅供参考之用；若中文版本与英文版本有任何冲突或不一致，则以英文版本为准。

© 2018 STMicroelectronics - 保留所有权利