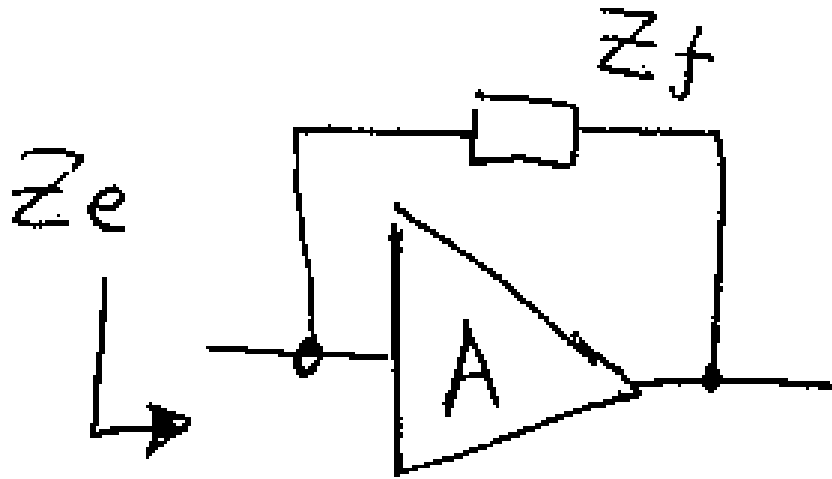


Стабилност кола са
повратном спрегом и
технике
компензације

Милерова теорема



$$Z_e = \frac{Z_f}{1-A}$$

$$C_e = C_f(1-A)$$

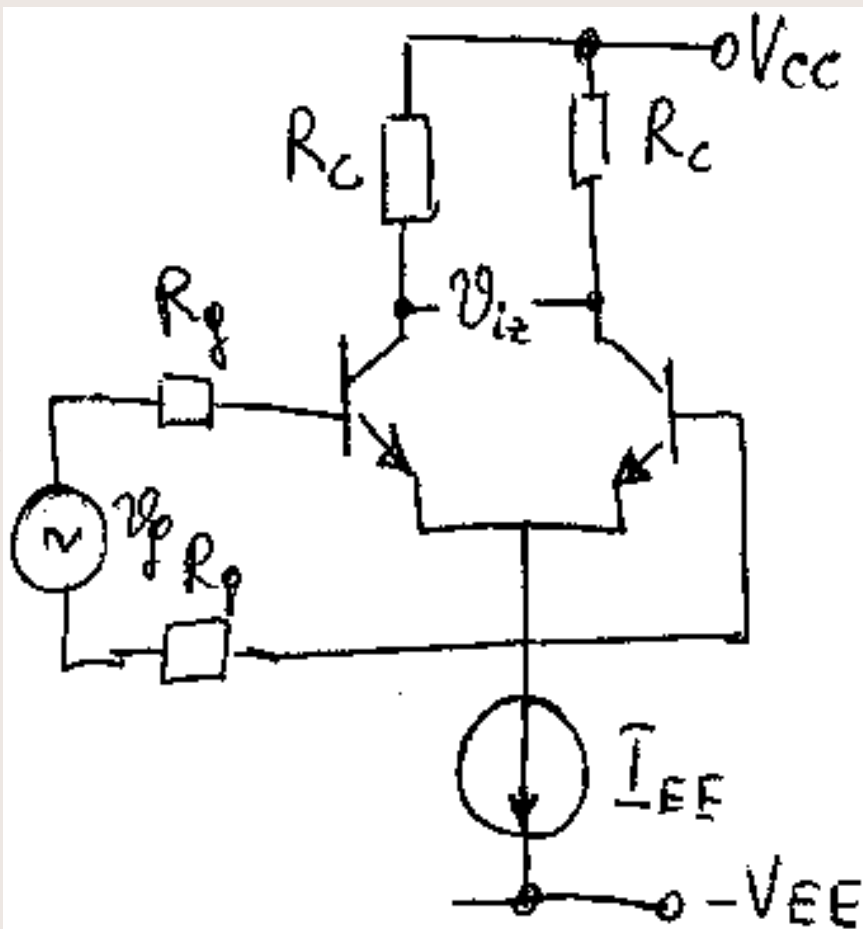
Напомена: У пракси је A негативно да бисмо имали затворену негативну повратну спрегу.

Милерова теорема показује да се чак и мала капацитивност C_f на улазу “види” као велика капацитивност C_e због великог појачања A .

Основни појачавачки степени

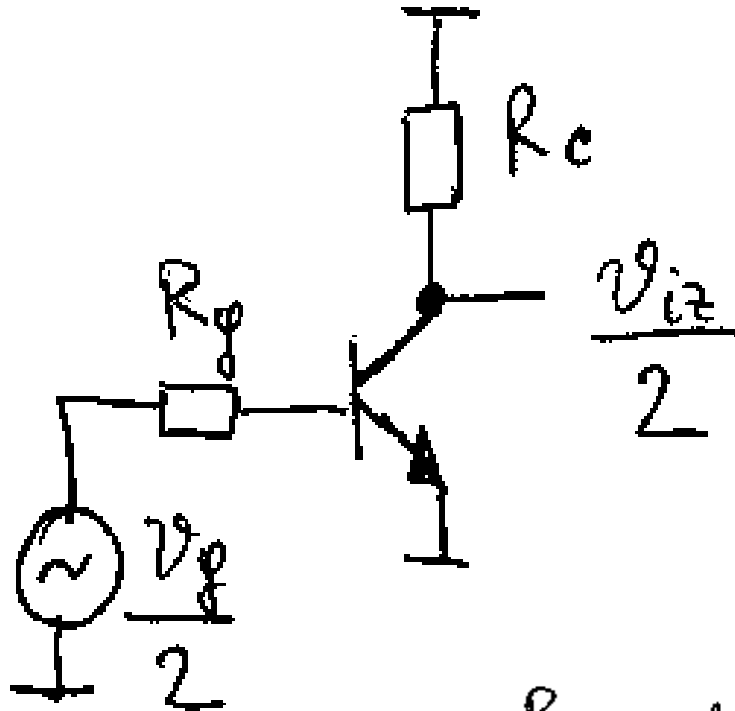
- Степен са заједничким емитором
- Степен са заједничком базом
- Степен са заједничким колектором
- Диференцијални (улазни) степен
- Остали сложенији појачавачки степени

Диференцијални степен



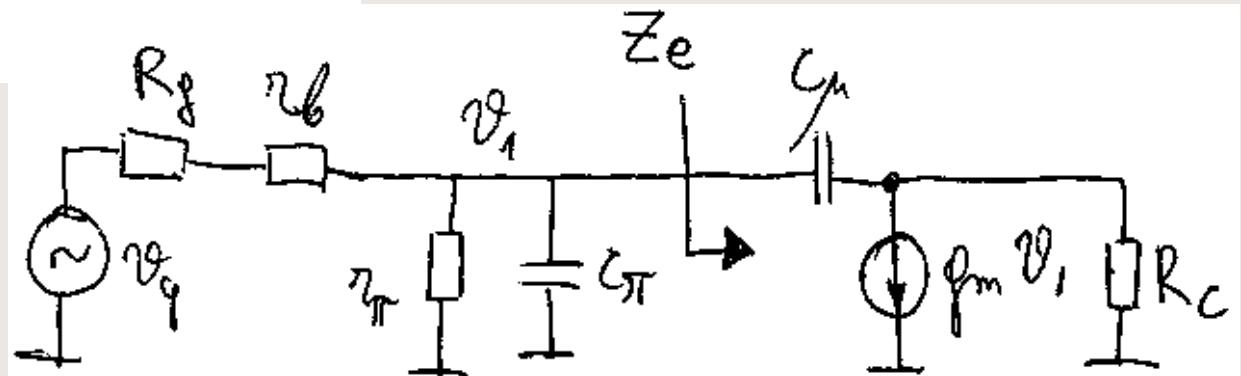
Налази се на улазу операционог појачавача и обезбјеђује прво напонско појачање. Теорема половљења показује да се диференцијално и синфазно појачање могу добити анализом простијих еквивалентних степена са заједничким емитором.

Емиторски степен



Половљењем диференцијалног појачавача добија се коло за налажење диференцијалног појачања.

Замјеном транзистора моделом за више учестаности, добија се еквивалентно коло за мале сигнале.



Примјеном Милерове теореме налазимо Z_e и A_d

$$Z_e = sC_\mu (1 - A_{vz}) = sC_\mu (1 + \beta_m R_c)$$

$$A_d = \frac{v_{i2}}{v_g} = \frac{K}{1 - \frac{s}{p_1}}$$

$$K = -\beta_m R_c \frac{\lambda_\pi}{R_g + \lambda_b + \lambda_\pi}$$

$$p_1 = - \frac{R_g + \lambda_b + \lambda_\pi}{(R_g + \lambda_b) \lambda_\pi} \cdot \frac{1}{C_\mu (1 + \beta_m R_c) + C_\pi}$$

Тачан рачун даје сличне резултате

Милерова теорема се користи за приближан рачун. (Могућ је и тачан поступак са итеративном поправком напонског појачања.) У сваком случају, егзактан рачун даје приближно исте резултате као што се добијају Милеровом апроксимацијом. Разлика је у томе што се добија још један пол p_2 на учестаностима већим од ω_T . ω_T је пресјечна учестаност гдје појачање износи 0dB. Овај пол је недоминантан, али ипак има неки утицај на фазну карактеристику због дјеловања до 10 пута нижих учестаности.

Степени са заједничком базом и заједничким колектором

Код ових степена Милеров ефекат је знатно мање изражен. Код степена са заједничком базом између колектора и емитора је мања капацитивност, а код степена са заједничким колектором напонско појачање је свега 1. Зато ови степени у операционом појачавачу по правилу доносе недоминантне полове.

Хилбертове трансформације

Показују да код кола минималне фазе између амплитудске и фазне карактеристике појачања постоји једнозначна веза до нивоа константе.

(Коло минималне фазе је коло које нема у десној s полуравни ни нуле ни полове.)

Сваком нагибу амплитудске карактеристике одговара одређена фаза:

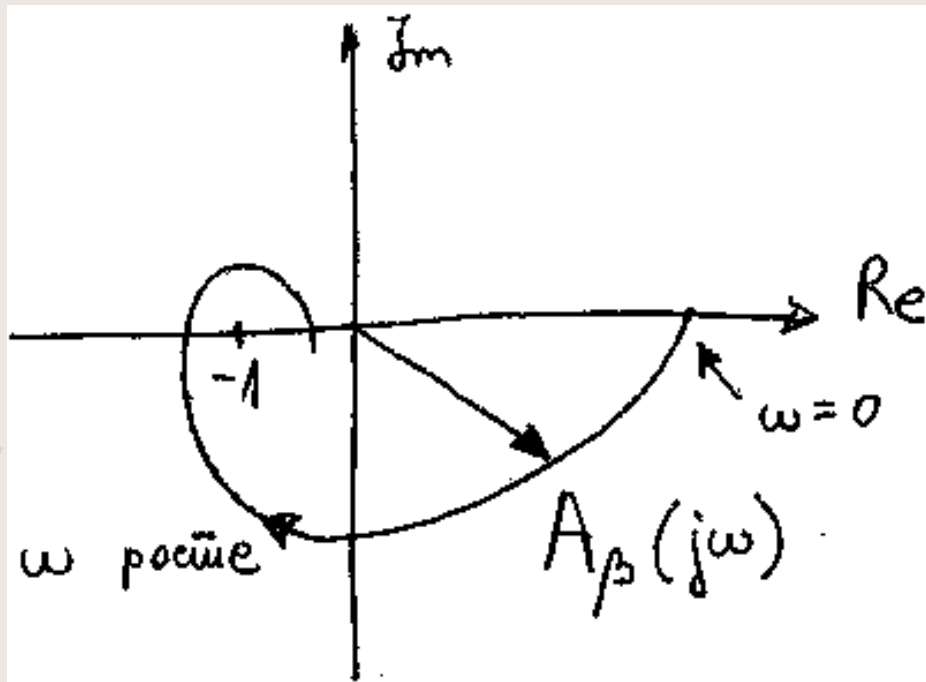
$$-20\text{dB} \Rightarrow -\pi/2$$

$$-40\text{dB} \Rightarrow -\pi$$

$$-60\text{dB} \Rightarrow -3\pi/2$$

То значи да не можемо независно утицати на амплитуду и фазу.

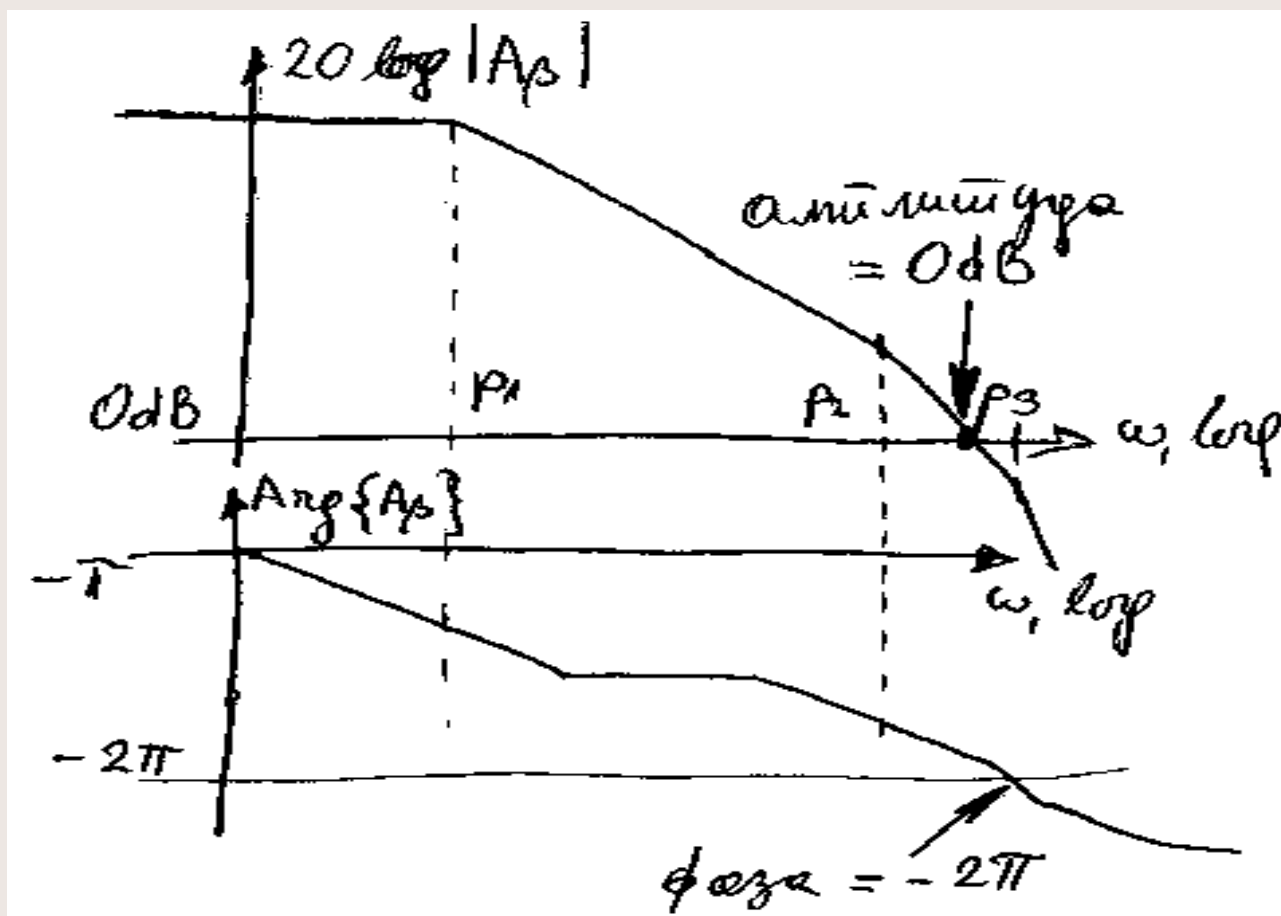
Најквистов критеријум стабилности (Nyquist)



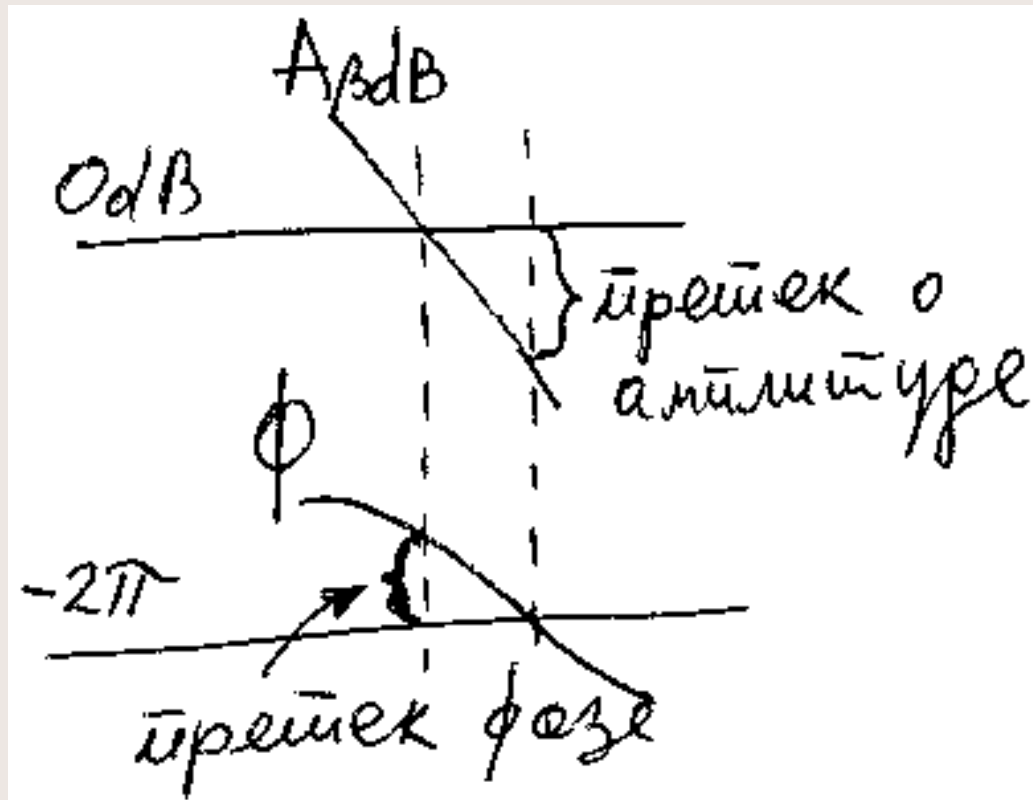
- Ако ходограм кружног појачања обухвати тачку -1 систем ће бити нестабилан.

Напомена: Ово је оубичајен начин изражавања Најквистовог критеријума када се сигнал са излаза доводи на $-$ улаз дискриминатора грешке. У нашем случају критична тачка није -1 него $+1$.

Бодеев критеријум – систем је стабилан ако има претек амплитуде и фазе

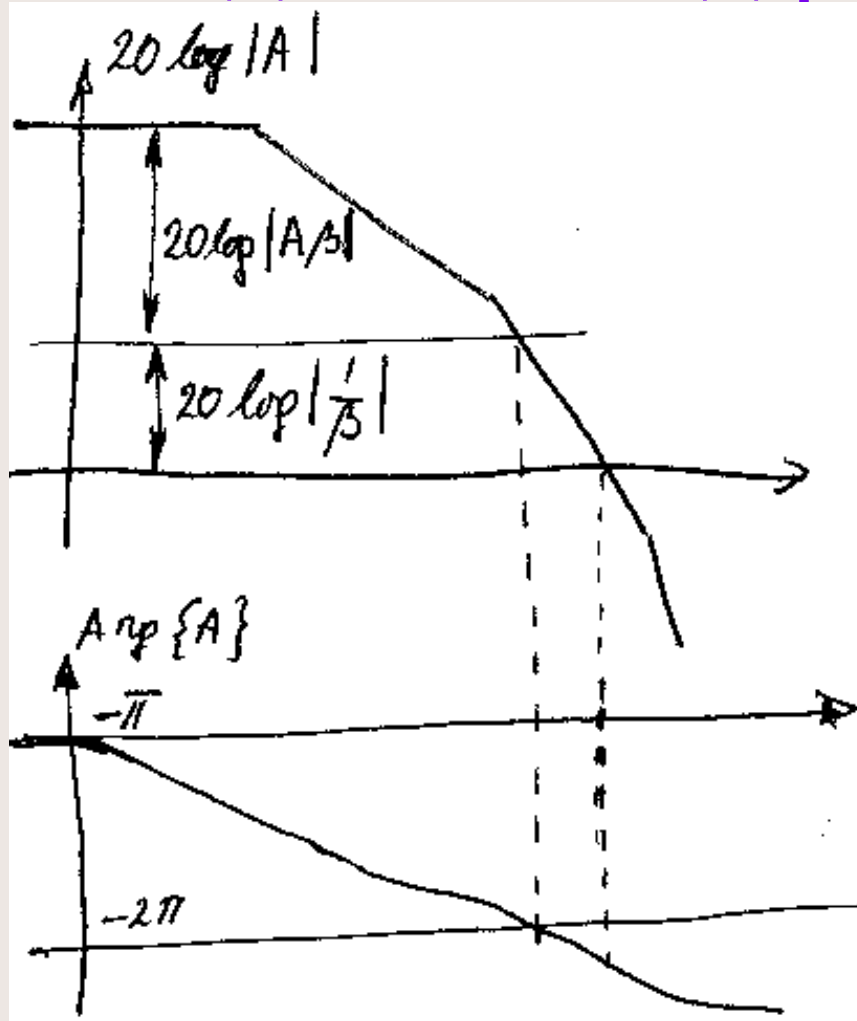


Поглед изблиза на претек амплитуде и претек фазе



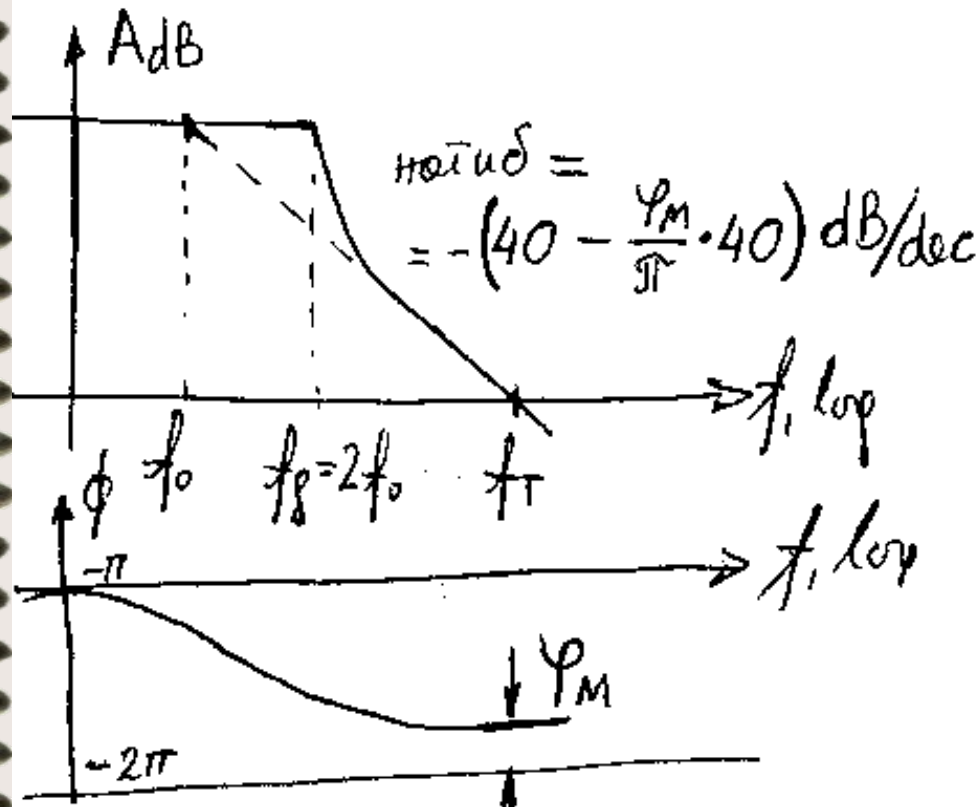
Узима се да је претек фазе од $\pi/6$ довољан за квалитетан одзив на одскочну побуду.

Стабилност зависи од A_{β} , а не од A или од β независно



Најзахтјевнији је јединични појачавач јер је код њега кружно појачање једнако појачању самог појачавача. Појачавач који је стабилан при јединичној повратној спрези, стабилан је и при слабијим спрегама.

Идеална карактеристика појачања



Има максималну f_g за задати претек фазе.

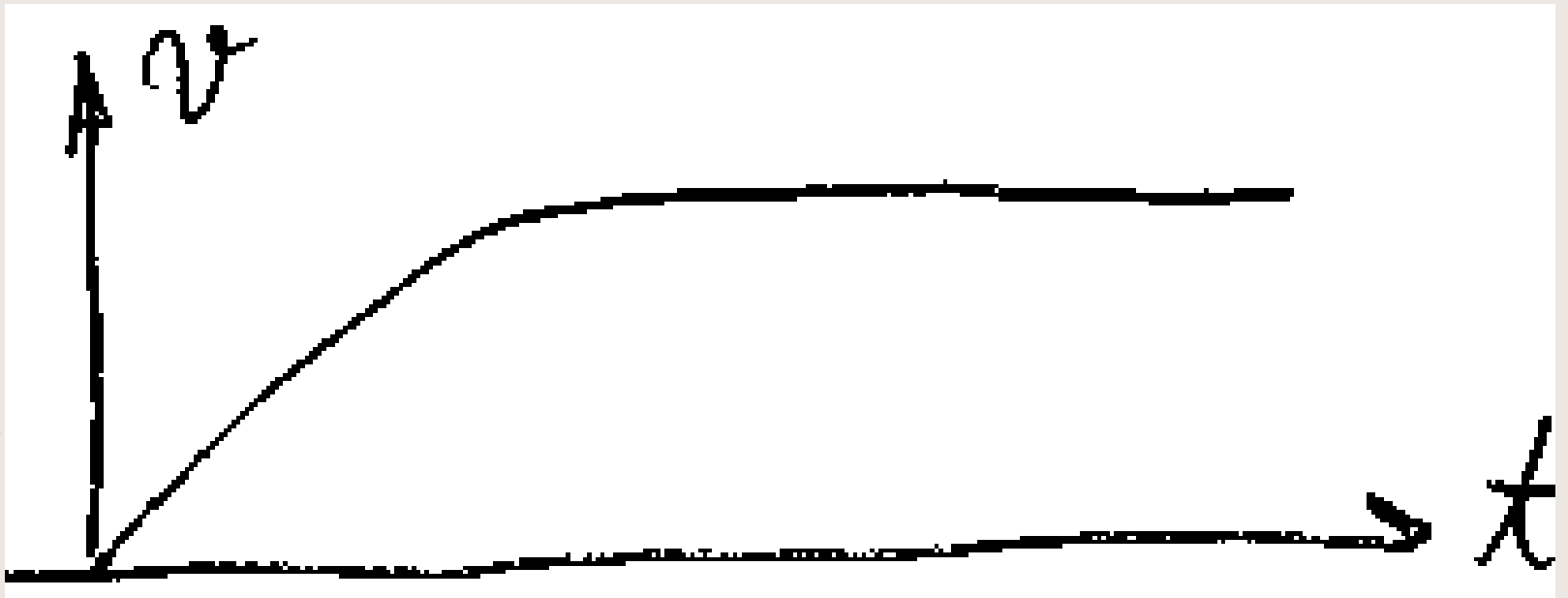
Практична реализација нагиба различитих од $-N \cdot 20 \text{ dB/dec}$ није једноставна. Зато идеална карактеристика има само теоретски значај.

Премали претек фазе



Одзив на одскочну функцију кола са малим претеком фазе карактерише осцилаторан облик. Што је претек фазе мањи то су осцилације слабије пригушене. С друге стране, стрмина одзива, па тиме и брзина одзива су велики.

Добар претек фазе



То је претек фазе који даје најбржи одзив, али без осцилација. Већи претек фазе би успоравао одзив, а мањи претек би унио осцилације.

Превелик претек фазе



Одзив је спор. Системи са великим претеком фазе су спори и имају мали пропусни опсег (мало f_g).

Компензација појачавача

То је модификовање функције кружног појачања $A_{\beta}(j\omega)$ са циљем да се постигне жељени претек фазе (амплитуде). Изводи се пасивним елементима (отпорницима и кондензаторима) и састоји се у смањењу кружног појачања.

Смањујемо појачање да бисмо заузврат добили бољу карактеристику (са већим претеком фазе).

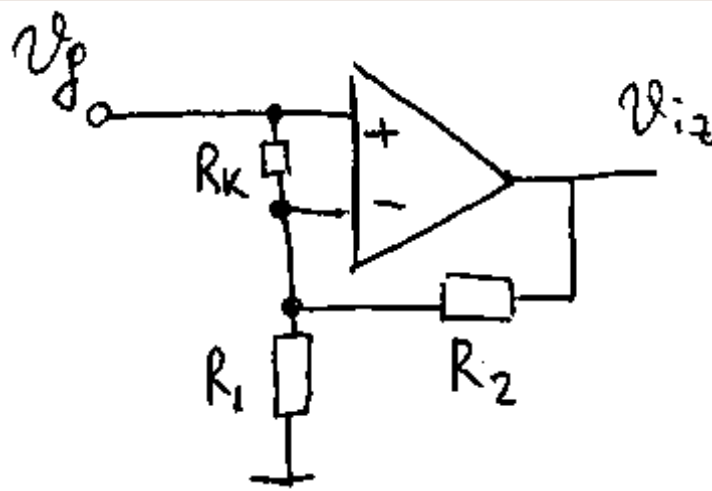
Могуће је модификовати:

- сами појачавач или
- спољашње елементе.

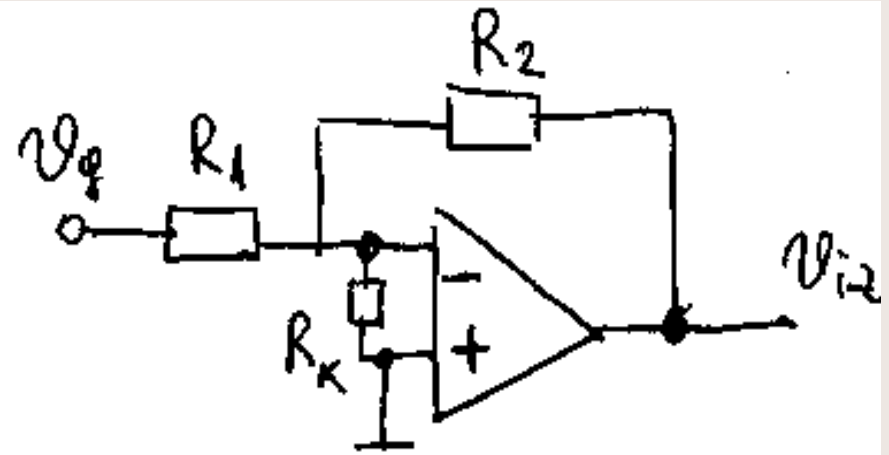
Што је појачање са реакцијом веће, потреба за компензацијом је мања?

Смањење појачања

Најједноставнији начин компензације је смањење појачања. Смањујемо R_K док не добијемо жељену стабилност. Посматрамо одзив на одскочну побуду.

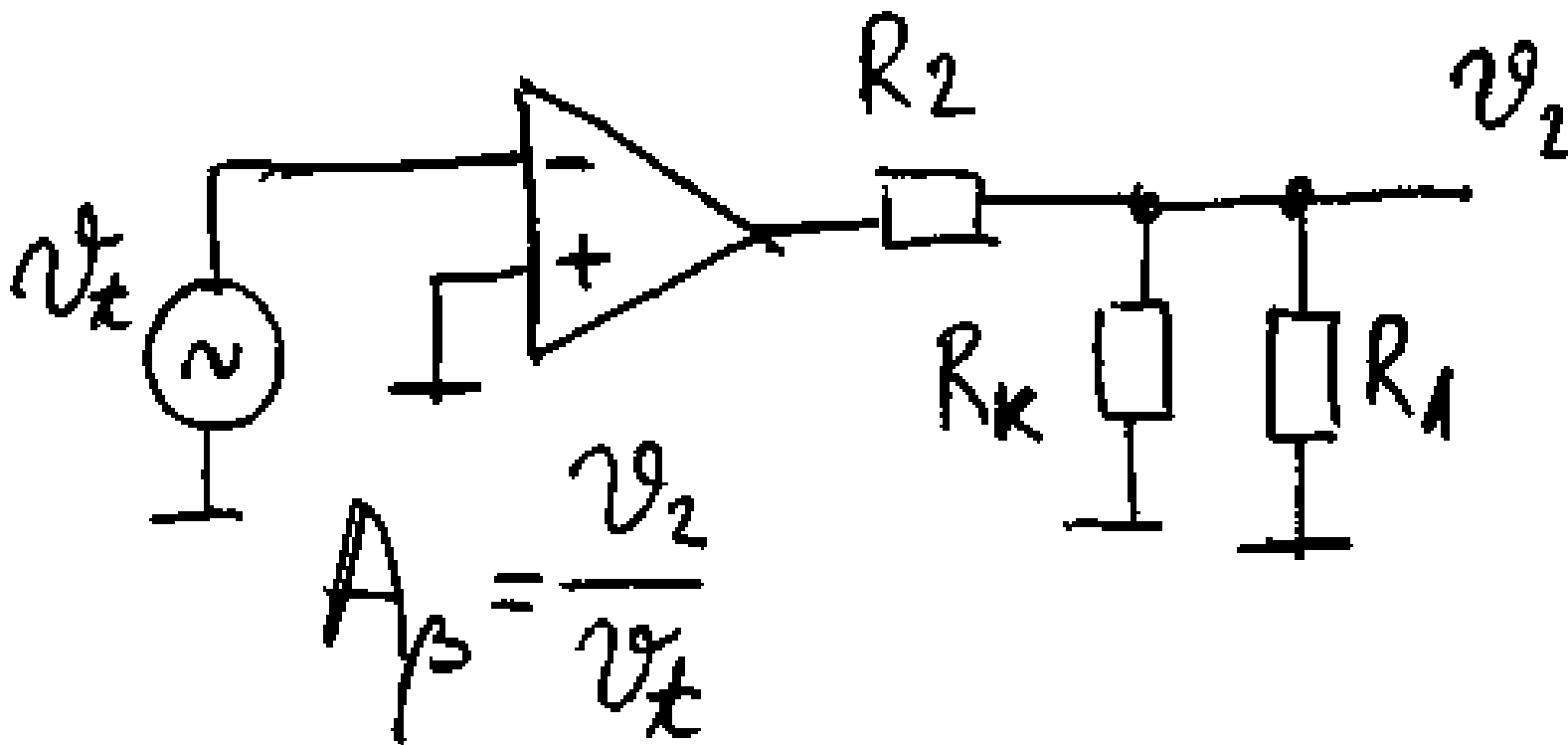


Неинвертујући појачавач



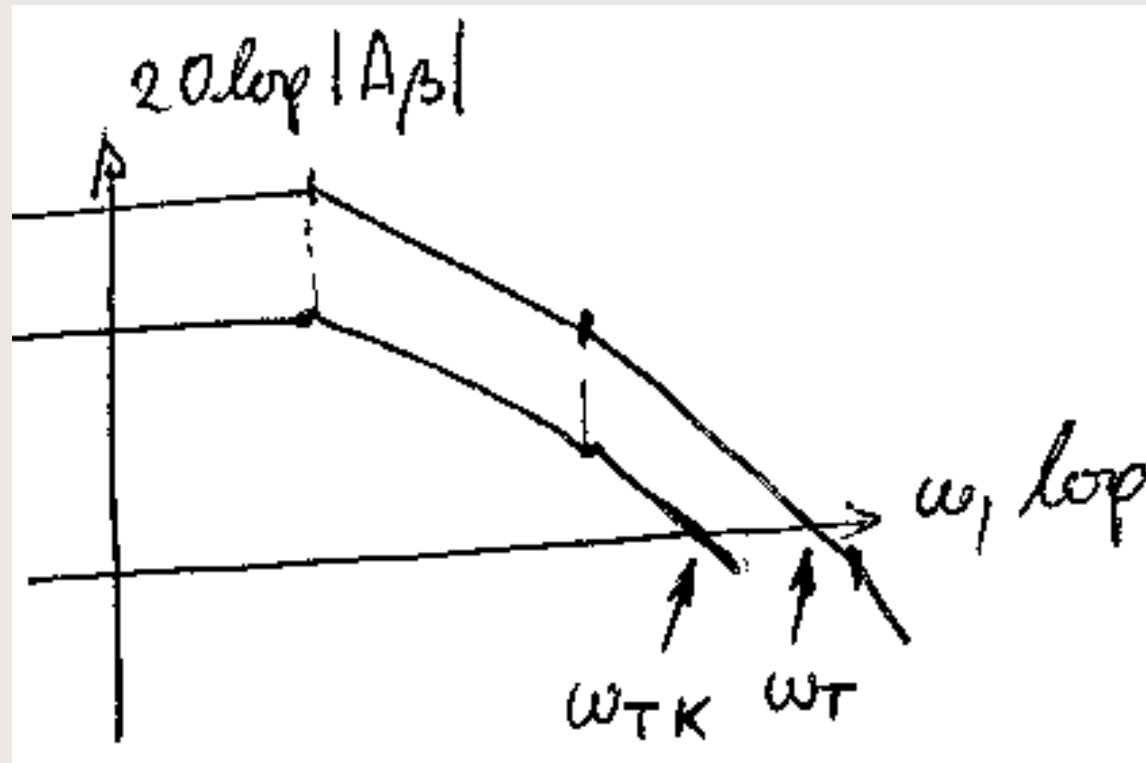
Инвертујући појачавач

Кружно појачање је исто у оба случаја: инверт. и неинверт.



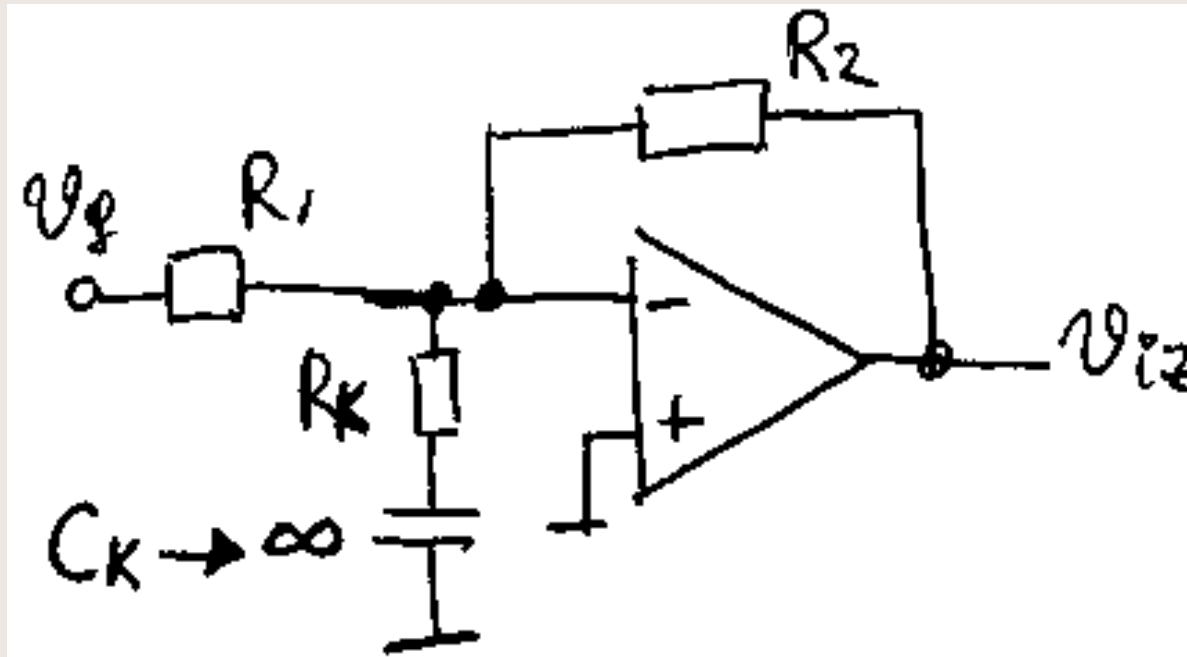
Колико је кружно појачање?

Амлитудски дијаграм је помјерен наниже



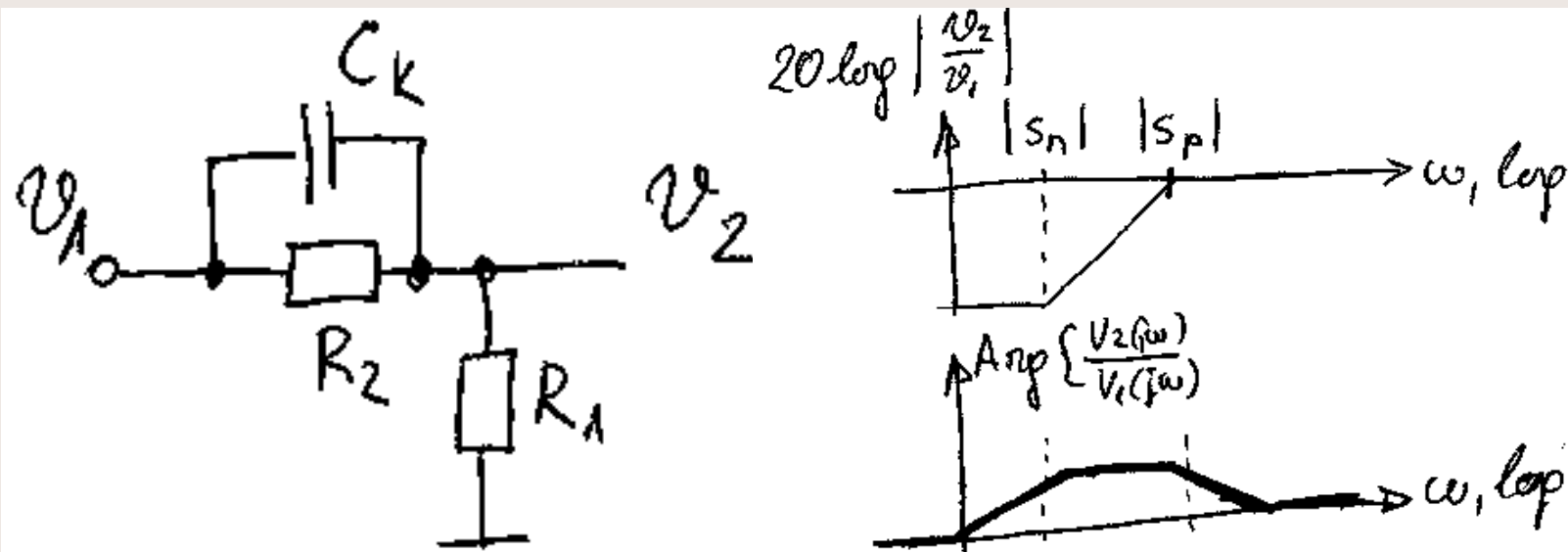
Смањењем појачања добијамо нижу пресјечну учестаност ω_T а тиме и шансу за фазни претек.

Смањење појачања за наизмјеничне сигнале



Овим се задржава појачање за једносмјерне сигнале и сигнале веома ниских учестаности. За веома ниске учестаности кондензатор представља прекид, док за више учестаности представља кратак спој.

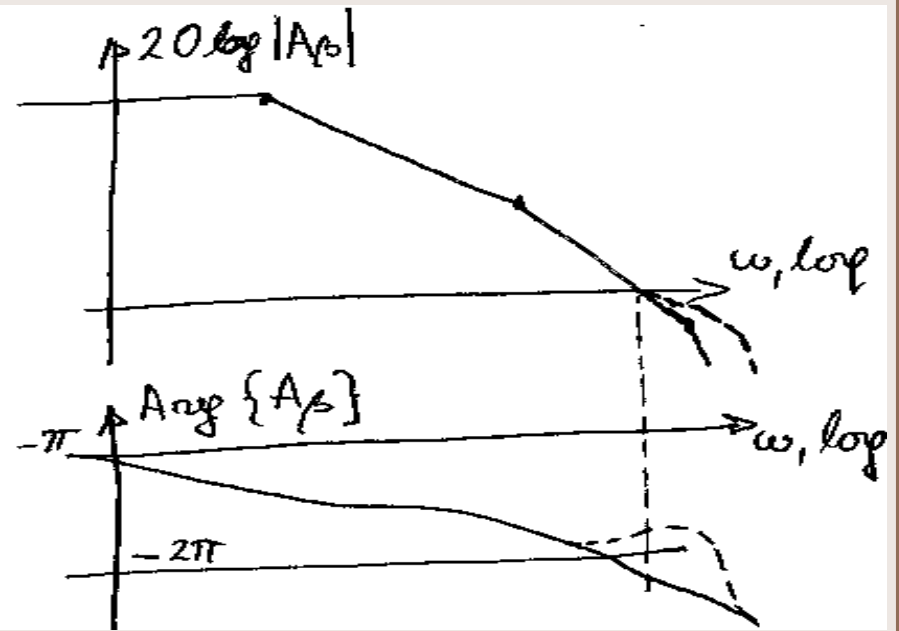
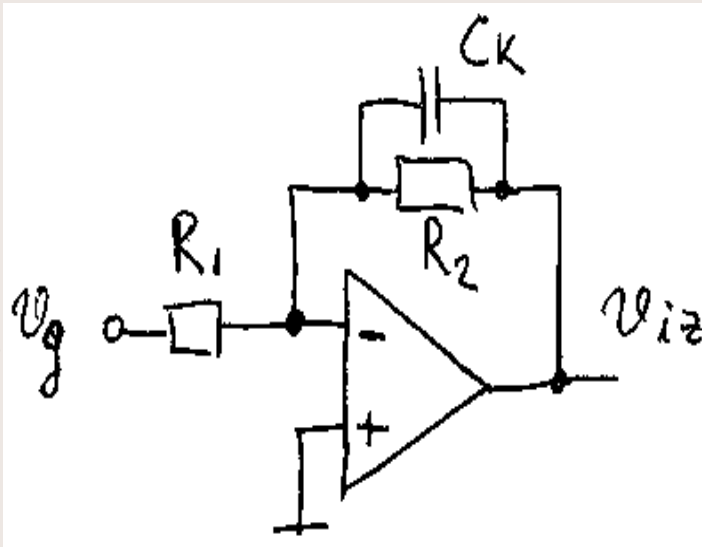
Диференцијални компензатор



Наћи нулу и пол преносне функције!

Подиже амплитуду, али поправља фазу.

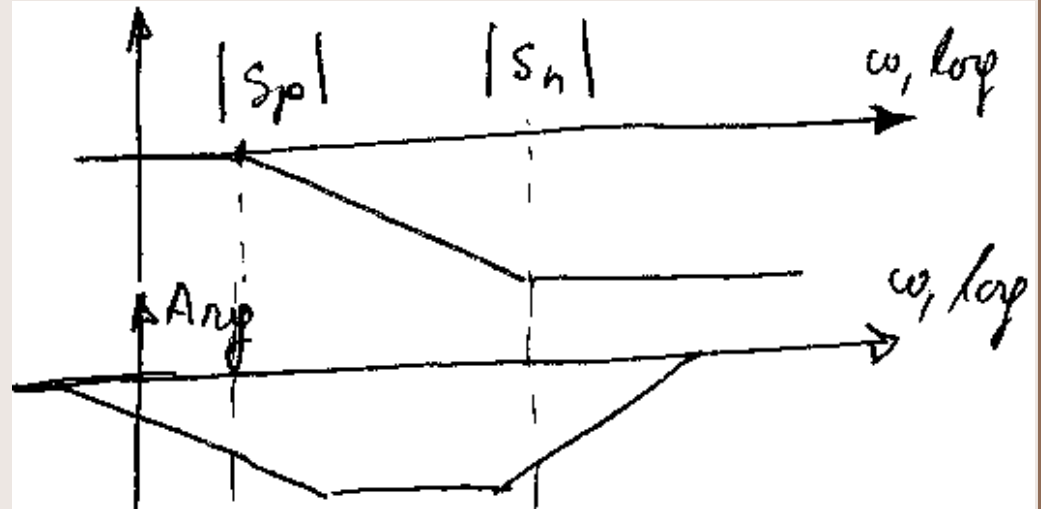
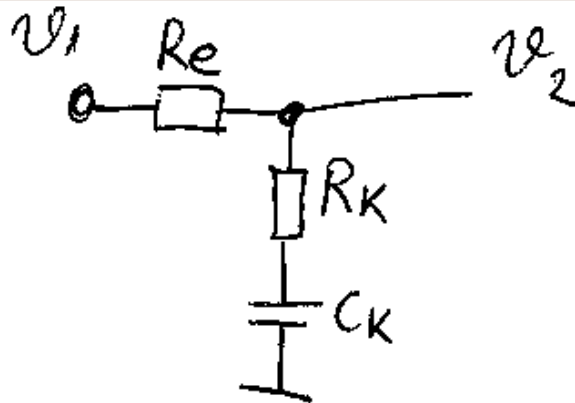
Реализација у колу повратне спреге



Користи се на пресјечној учестаности када је појачање већ прошло испод 0dB. Утицај компензатора на фазу почиње на 10 пута нижој учестаности. Један степен слободе.

Повећавамо C_K док не добијемо жељени претек фазе.

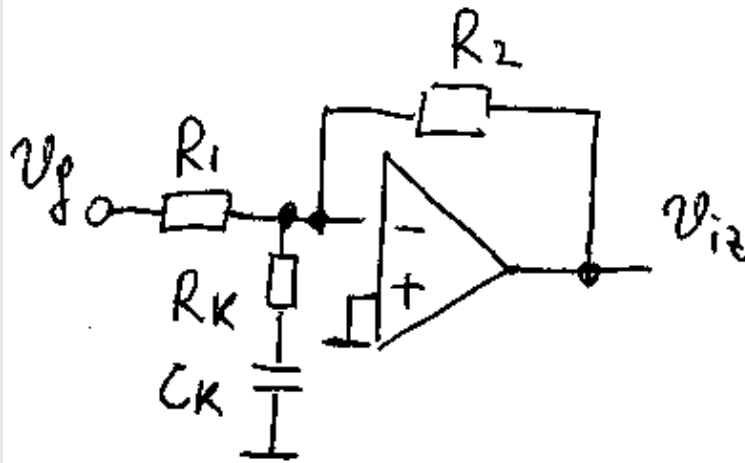
Интегрални компензатор



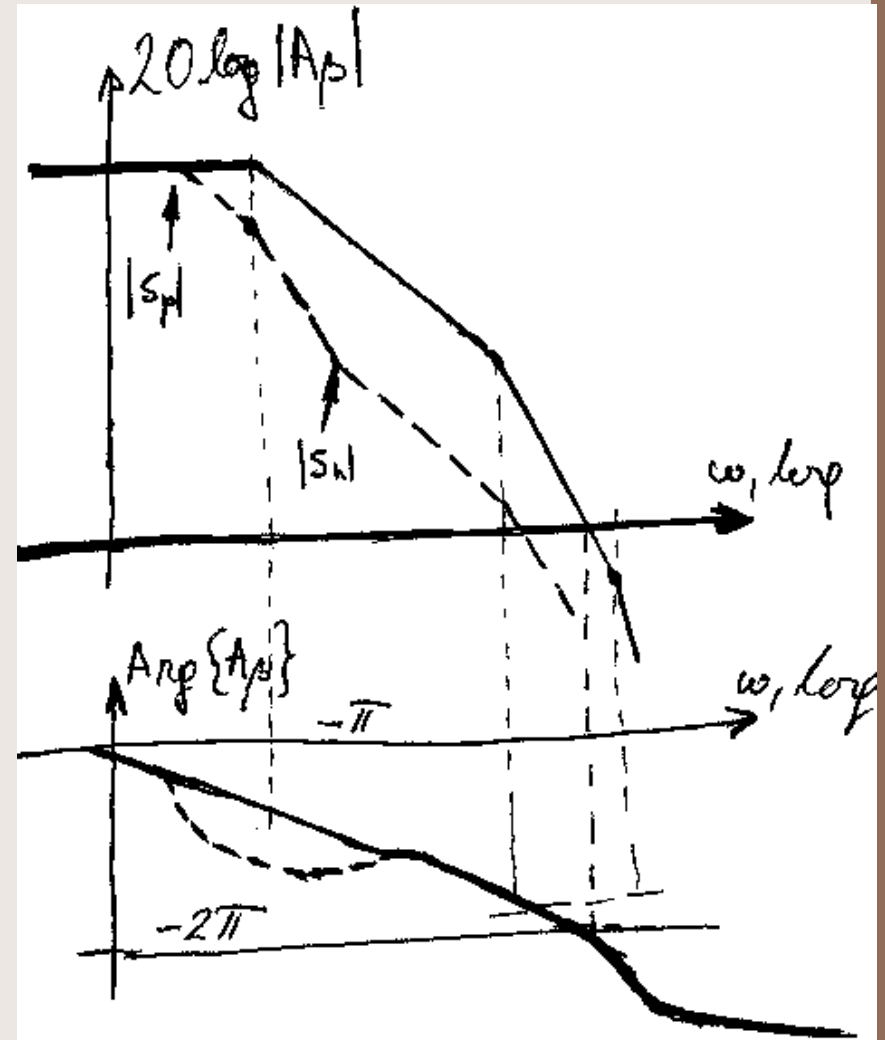
Наћи нулу и пол преносне функције!

Обара амплитуду, али на жалост и фазу.

Реализација код појачавача



Циљ је да се амплитуда смањи док смо још са фазом добри. Интегрална компензација смањује пропусни опсег појачања. Два степена слободе.



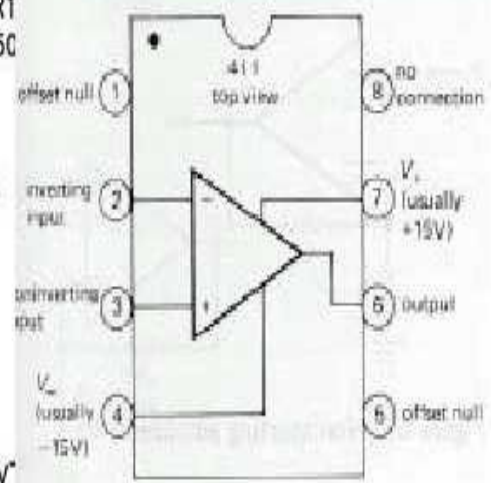
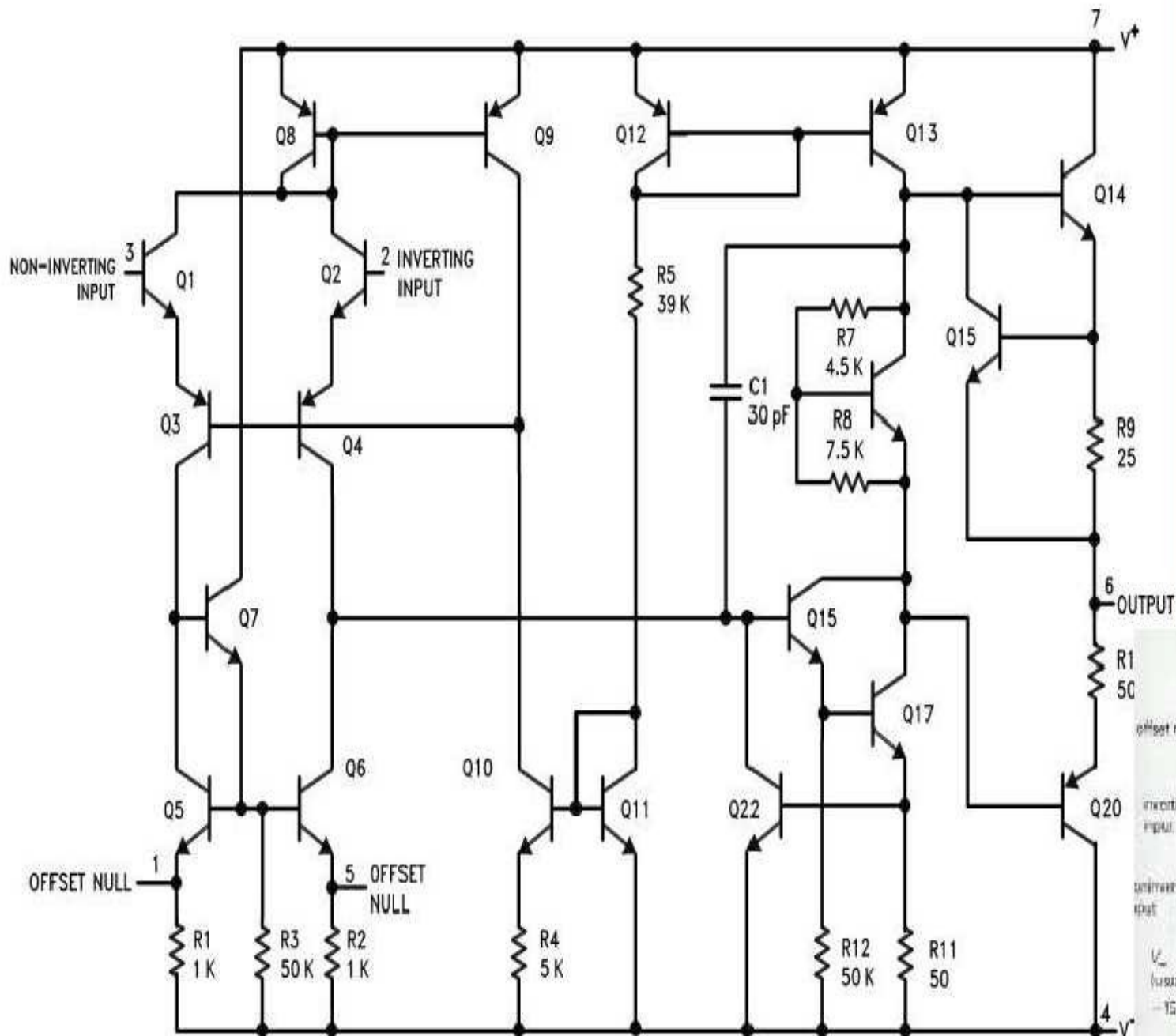
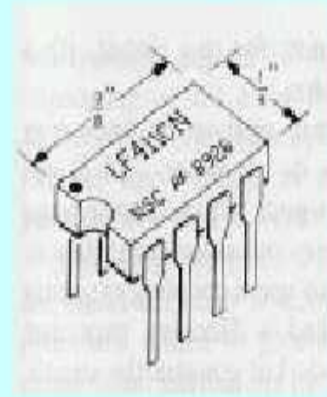
Практични поступак компензације

- Прво ставимо велику капацитивност C_K
- Затим смањујемо R_K док не добијемо жељени претек фазе.
- Затим смањујемо C_K док год можемо, т.ј. док то не квари претек фазе.

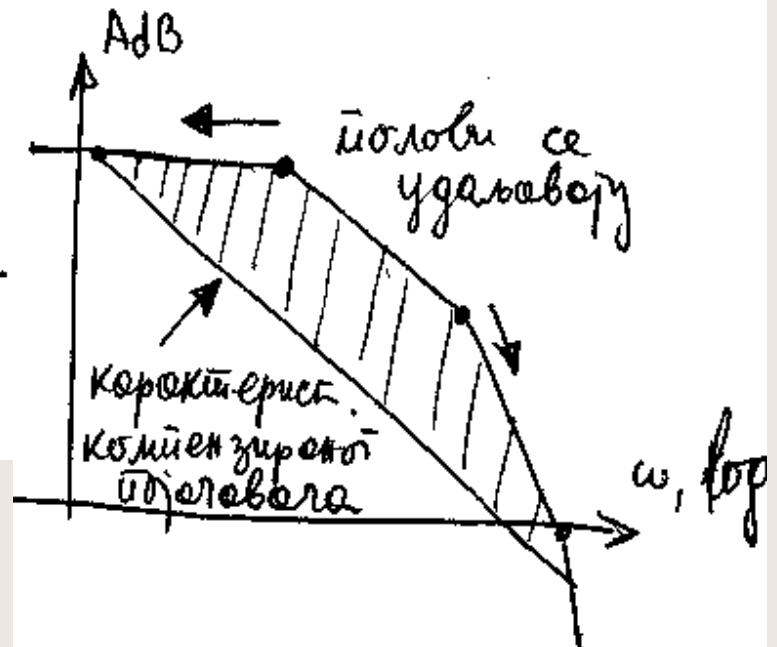
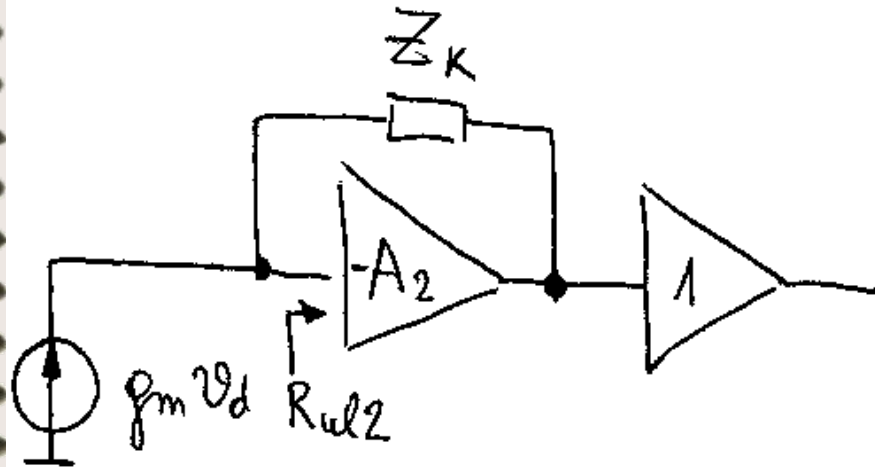
Интегрални компензатор смањује пропусни опсег и зато га користимо у случајевима када диференцијални компензатор није помогао.

Компензација у колу локалне повратне спреге

- Обликујемо карактеристику самог операционог појачавача
- Изводи се у колу локалне повратне спреге другог степена напонског појачања
- Независно је од спољашњих елемената
- Потребне су веома мале капацитивности до 30pF



Еквивалентна шема



$$A_0 = -A_2 g_m R_{ul2}$$

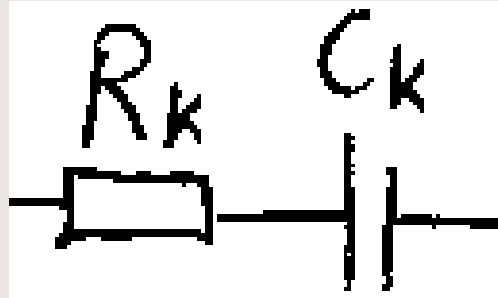
$$A(j\omega) = -g_m Z_k(j\omega)$$

Улазни диференцијални појачавач замјењујемо напонски управљаним струјним извором $g_m v_d$.

Утицај компензационе импендансе

- Због Милеровог ефекта први (диференцијални) степен види малу импендансу потрошача и зато има мање напонско појачање.
- Помјера пол првог степена ка вишим учестаностима
- Смањује и појачање другог степена, али његов пол се помјера на ниже учестаности и тиме постаје доминантан.

Компензација нулом и полом у колу локалне повратне спреге



- Састоји се од C_k и R_k
- Користи се у случајевима када капацитивно оптерећење прави додатни пол.
- Нула коју доноси компензација треба да поништи тај додатни пол.

Корисна литература

- **Operational Amplifiers: Basic Concepts** Prof. Greg Kovacs Department of Electrical Engineering Stanford University
- *Amplifiers* g.hall@ic.ac.uk www.hep.ph.ic.ac.uk/~hallg/
- **HANDBOOK OF OPERATIONAL AMPLIFIER**
- Application Report SBOA092A - October 2001 - **Texas Instruments**
- **LF155/LF156/LF355/LF356/LF357** © 2001 National Semiconductor Corporation DS005646 - www.national.com