

CORRENTES DE POLARIZAÇÃO E OFFSET DE CORRENTE

Consideramos a partir que para um aux. op. ideal, $I_m = I_p = 0$.

Parece um aux. op. real, $I_p \neq 0$, $I_m \neq 0$ e $I_p \neq I_m$.

Isto está relacionado à necessidade de os transistores de saída de estarem polarizados na região ativa e de que o corteamento entre eles não perfeito. A condição acima é tratada como um "defeito c.c." do aux. op.

Definimos:

$$I_B \stackrel{\Delta}{=} \frac{I_p + I_m}{2} \text{ corrente de polarização de saída,}$$

tipicamente com valores entre $0,1 \mu A$ e $10 \mu A$, podendo ser positiva ou negativa, dependendo do tipo do aux. op.

$I_{IO} \stackrel{\Delta}{=} I_p - I_m$ offset de corrente de saída, expresso em %, tipicamente de 5 a 10%.
(I_{IO} ou I_{OS})

Dependendo dos valores de I_p e I_m , o erro no sinal de saída pode ser muito significativo.

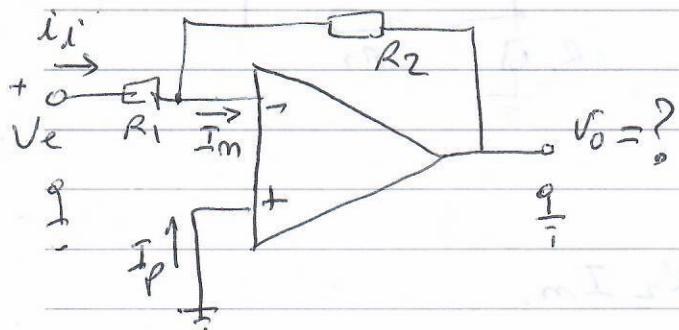
Ex.: Amplificador inversor.

$$I_p = I_m = 100 \text{ mA}$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

Operando na região linear: $V_d \propto 0$



Se $v_e = 0$ e $v_m = 0$. (termo virtual)

$$\Rightarrow v_{R_1} = 0 \text{ e } i_i = 0$$

$$I_m \text{ passará através de } R_2 \text{ e } i_2 \Big|_{v_e=0} = I_m.$$

$$\therefore V_o \Big|_{v_e=0} = R_2 I_m.$$

I_p fluí diretamente para a massa e não afeta o valor de V_o .

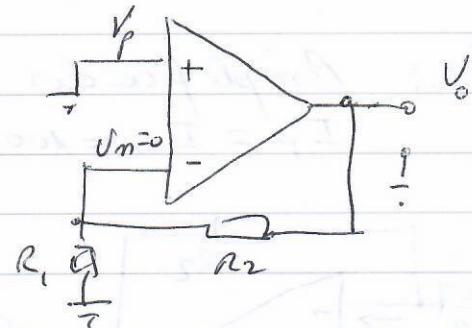
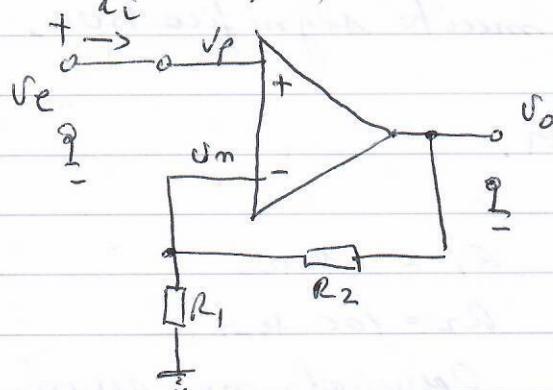
$$\text{Para o sinal: } V_o \text{ sinal} = -\frac{R_2}{R_1} v_e.$$

$$\therefore V_o = -\frac{R_2}{R_1} v_e + R_2 I_m$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega \text{ e } R_1 = 1 \text{ k}\Omega \Rightarrow$$

$$V_o = -100 v_e + 100 \text{ k} \times 100 \text{ m} = -100 v_e + 10 \text{ mV}$$

Ex.: Amplificador não inverter

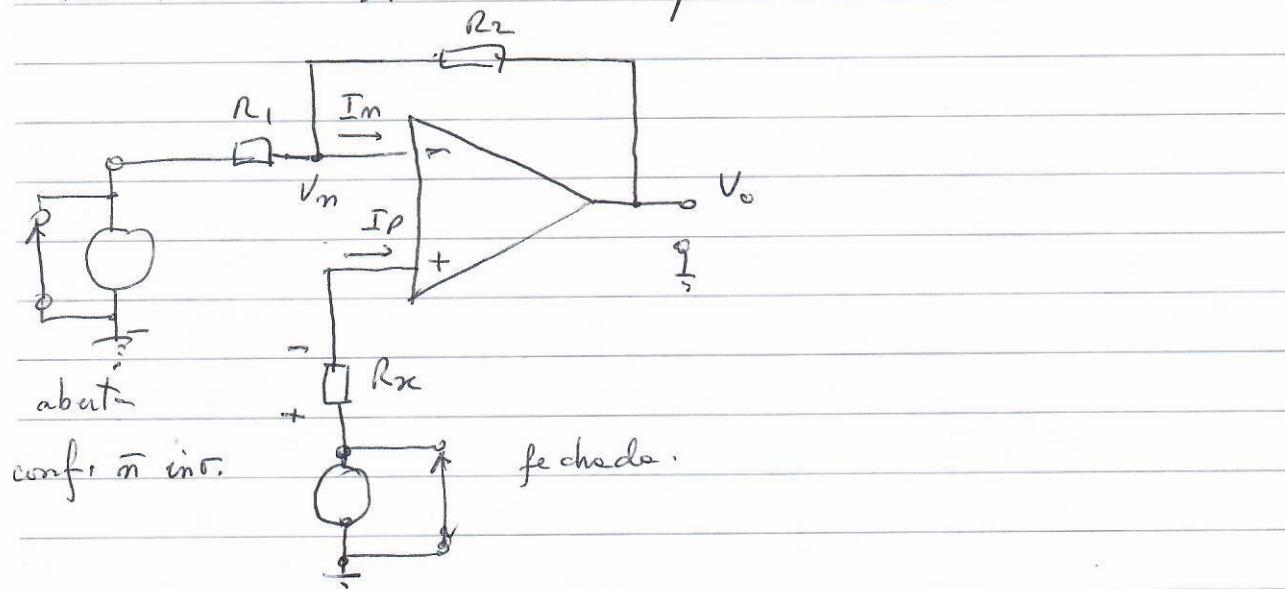


$$\text{Se } v_e = 0 \Rightarrow V_p = 0$$

$$\text{pois } V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} v_e + R_2 I_m.$$

Para as duas configurações o amplificador sofre a mesma influência de I_B .

Já que a topologia é a mesma para um e outro caso, no que se refere a I_B , a componente $I_m R_2$ pode ser colocada a zero colocando-se um resistor em série com V_p :



$$\text{Se } I_p = 0 \Rightarrow V_o \Big|_{I_p=0} = R_2 I_m. \quad (\text{inv.})$$

$$\text{Se } I_m = 0 \Rightarrow V_o \Big|_{I_m=0} = -I_p R_x \left(\frac{R_2 + R_1}{R_1} \right) \quad (\text{n inv.}),$$

$$V_o = R_2 I_m - I_p R_x \frac{R_2 + R_1}{R_1} = 0 \Rightarrow I_m R_2 = I_p R_x \frac{R_2 + R_1}{R_1}$$

$$\text{Se } I_m = I_p \Rightarrow R_2 = R_x \frac{R_2 + R_1}{R_1}$$

$$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 // R_2$$

$$\text{Se } R_2 \gg R_1 \Rightarrow R_x \approx R_1.$$

Exemplos:

LM 308

$$I_B = 1,5 \text{ mA typ}$$

$$I_{DS} = 0,2 \text{ mA typ}$$

LF 356 (bifet)

$$I_B = 30 \mu\text{A typ}$$

$$I_{DS} = 3 \mu\text{A typ}$$

Exercícios de estudo

Exercício 1

Exercício 2

Exercício 3

Exercício 4

Exercício 5

Exercício 6

Exercício 7

Exercício 8

Exercício 9

Exercício 10

Exercício 11

Exercício 12

Exercício 13

Exercício 14

Exercício 15

Exercício 16

Exercício 17

Exercício 18

Exercício 19

Exercício 20

Exercício 21

Exercício 22

Exercício 23

Exercício 24

Exercício 25

Exercício 26

Exercício 27

Exercício 28

Exercício 29

Exercício 30

Exercício 31

Exercício 32

Exercício 33

Exercício 34

Exercício 35

Exercício 36

Exercício 37

Exercício 38

Exercício 39

Exercício 40

Exercício 41

Exercício 42

Exercício 43

Exercício 44

Exercício 45

Exercício 46

Exercício 47

Exercício 48

Exercício 49

Exercício 50

Exercício 51

Exercício 52

Exercício 53

Exercício 54

Exercício 55

Exercício 56

Exercício 57

Exercício 58

Exercício 59

Exercício 60

Exercício 61

Exercício 62

Exercício 63

Exercício 64

Exercício 65

Exercício 66

Exercício 67

Exercício 68

Exercício 69

Exercício 70

Exercício 71

Exercício 72

Exercício 73

Exercício 74

Exercício 75

Exercício 76

Exercício 77

Exercício 78

Exercício 79

Exercício 80

Exercício 81

Exercício 82

Exercício 83

Exercício 84

Exercício 85

Exercício 86

Exercício 87

Exercício 88

Exercício 89

Exercício 90

Exercício 91

Exercício 92

Exercício 93

Exercício 94

Exercício 95

Exercício 96

Exercício 97

Exercício 98

Exercício 99

Exercício 100

Exercício 101

Exercício 102

Exercício 103

Exercício 104

Exercício 105

Exercício 106

Exercício 107

Exercício 108

Exercício 109

Exercício 110

Exercício 111

Exercício 112

Exercício 113

Exercício 114

Exercício 115

Exercício 116

Exercício 117

Exercício 118

Exercício 119

Exercício 120

Exercício 121

Exercício 122

Exercício 123

Exercício 124

Exercício 125

Exercício 126

Exercício 127

Exercício 128

Exercício 129

Exercício 130

Exercício 131

Exercício 132

Exercício 133

Exercício 134

Exercício 135

Exercício 136

Exercício 137

Exercício 138

Exercício 139

Exercício 140

Exercício 141

Exercício 142

Exercício 143

Exercício 144

Exercício 145

Exercício 146

Exercício 147

Exercício 148

Exercício 149

Exercício 150

Exercício 151

Exercício 152

Exercício 153

Exercício 154

Exercício 155

Exercício 156

Exercício 157

Exercício 158

Exercício 159

Exercício 160

Exercício 161

Exercício 162

Exercício 163

Exercício 164

Exercício 165

Exercício 166

Exercício 167

Exercício 168

Exercício 169

Exercício 170

Exercício 171

Exercício 172

Exercício 173

Exercício 174

Exercício 175

Exercício 176

Exercício 177

Exercício 178

Exercício 179

Exercício 180

Exercício 181

Exercício 182

Exercício 183

Exercício 184

Exercício 185

Exercício 186

Exercício 187

Exercício 188

Exercício 189

Exercício 190

Exercício 191

Exercício 192

Exercício 193

Exercício 194

Exercício 195

Exercício 196

Exercício 197

Exercício 198

Exercício 199

Exercício 200

Exercício 201

Exercício 202

Exercício 203

Exercício 204

Exercício 205

Exercício 206

Exercício 207

Exercício 208

Exercício 209

Exercício 210

Exercício 211

Exercício 212

Exercício 213

Exercício 214

Exercício 215

Exercício 216

Exercício 217

Exercício 218

Exercício 219

Exercício 220

Exercício 221

Exercício 222

Exercício 223

Exercício 224

Exercício 225

Exercício 226

Exercício 227

Exercício 228

Exercício 229

Exercício 230

Exercício 231

Exercício 232

Exercício 233

Exercício 234

Exercício 235

Exercício 236

Exercício 237

Não balançamentos e assimetrias internas \Rightarrow componentes c.c. na saída, também chamado de "efeito c.c. do op-amp".

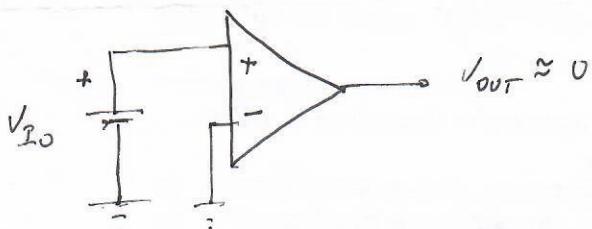
Esses não balançamentos podem ser representados por um de dois parâmetros do op-amp: input offset voltage e output offset voltage. A tensão offset de entrada é usualmente o parâmetro preferido.

V_{IO} : tensão c.c. que deve ser aplicada entre v_p e v_n para forçar $v_{out} = 0$ em condições de malha aberta.

V_{IO} pode variar com a temperatura.

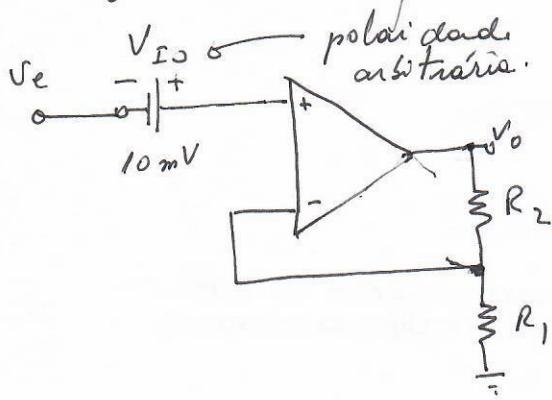
$|V_{IO}|$ típico: entre $1\mu V$ a $10 mV$.

O efeito de V_{IO} em um circuito op-amp pode ser modelado adicionando-se uma fonte de tensão aos terminais de saída de um op-amp ideal:



Exemplo: Qual o efeito de tensões de offset na saída de um amplificador não-inverso, com um ganho de 100.

V_{IO} está na faixa de $\pm 10 mV$.



$$v_o = \frac{R_2 + R_1}{R_1} v_i + \frac{R_2 + R_1}{R_1} v_{IO}$$

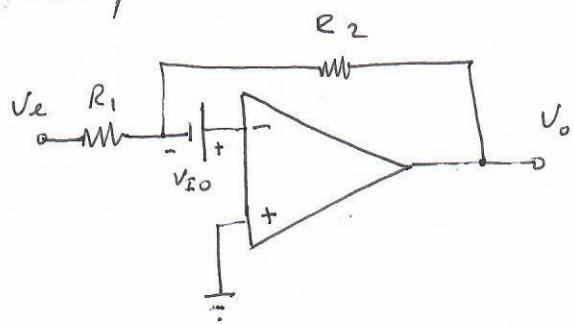
$$v_o = 100 v_i + 100 \times (\pm 10 mV)$$

$$\underline{v_o = 100 v_i \pm 1V}$$

componente de offset na saída.

Exemplo:

38



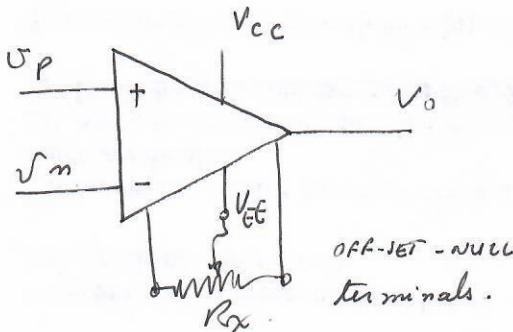
$$\frac{V_e - V_{I0}}{R_1} = \frac{V_{I0} - V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_e}{R_1} - \frac{V_{I0}}{R_1} = \frac{V_{I0}}{R_2} - \frac{V_o}{R_2}$$

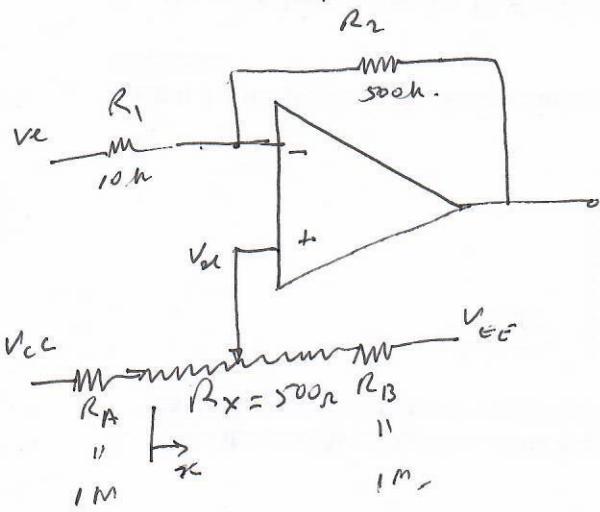
$$\frac{V_e}{R_1} - \frac{V_o}{R_1} - \frac{V_{I0}}{R_2} = -\frac{V_o}{R_2} \rightarrow \frac{V_e}{R_1} - V_{I0} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = -\frac{1}{R_2} V_o$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_e + V_{I0} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \cancel{\frac{R_2}{R_1}} \Rightarrow V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_e + V_{I0} \frac{R_2 + R_1}{R_1}$$

Correção do efeito da tensão de offset:



Exemplo: Op-amp com offset de tensão = 1 mV. sem disponibilidade de offset-null terminals.



$$A = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{500k}{10k} = -50$$

V_x = contribuição de V_{CC} e V_{EE}

$$V_{EE} = 0 \Rightarrow V_{x_1} = \frac{(1-x) R_x + R_B}{R_A + R_x + R_B} V_{CC}$$

$$V_{CC} = 0 \Rightarrow V_{x_2} = \frac{x R_x + R_A}{R_A + R_x + R_B} V_{EE}$$

$$V_x = \frac{[(1-x) R_x + R_B] V_{CC} + (x R_x + R_A) V_{EE}}{R_A + R_B + R_x}$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_x + \frac{R_2 + R_1}{R_1} (V_{IO} + V_x)$$

39

3

Para cancelar V_{IO} $\Rightarrow V_x = -V_{IO}$

se $V_{EE} = -V_{CC}$ e $R_A = R_B$

~~$$V_x = \frac{(1-x)R_x + R_B - (R_A + xR_x)}{R_A + R_B + R_x} V_{CC}$$~~

$$-V_{IO} = \frac{R_x - xR_x + R_B - R_A - xR_x}{R_A + R_B + R_x} V_{CC} = \frac{R_x(1-2x)}{R_A + R_B + R_x} V_{CC}$$

$$-V_{IO} = \frac{500(1-2x)/15}{2M+500} \approx 0,00375(1-2x)$$

$$-1m = 0,00375(1-2x) = 3,75mV - 7,5mV \times x$$

$$-4,75m = -7,5mV \cdot x \Rightarrow x = \frac{4,75m}{7,5m} \Rightarrow \boxed{x = 0,63}$$

Note-se que esse ajuste coloca x mais perto de V_{EE} do que de V_{CC} , tal que V_x ligeiramente negativa é aplicada pelo malha de R_x . Este resultado é consistente com um valor positivo de V_{IO} .