

Dioden: $I_{sp} \rightarrow$ Sättigungsstrom $I_{sp} = I_s \cdot e^{\frac{U_{sp}}{U_T} - 1} = I_s \cdot e^{\frac{U_{sp}}{U_T} - 1} = I_s \cdot e^{\frac{U_{sp} - R_{sp} \cdot I_{sp}}{U_T} - 1} \Rightarrow I_{sp} = I_{spES} \cdot (e^{\frac{U_{sp}}{U_T} - 1})$ $n=1..2$

Rekombinationsbereich (I_{sp} klein), Hochstrombereich (I_{sp} groß) $I_{sp} \sim \exp(\frac{U_{sp}}{2 \cdot n \cdot U_T})$ Diffusionsbereich (I_{sp} mittel) $I_{sp} \sim \exp(\frac{U_{sp}}{n \cdot U_T})$

Zenerdiode: $U_{sp} < 5 \dots 6V$, Temp. Koeff. < 0 , weite RLZ spannungschar. Effekt \rightarrow RLZ stark definiert \rightarrow schmale RLZ
 $E \rightarrow H$ Tunneln durch ein Gebiet hindurch, in dem eigentlich keine Zustände existieren

Lawineneffekt: $U_{sp} > 5 \dots 6V$, Temp. Koeff. > 0 , weite RLZ beruht auf Stoßionisation der Ladungsträger in hohen E -Feldern
 (Avalanche): E nimmt bei seiner Beschleunigung aus dem elektr. Feld Kin. Energie auf. $\rightarrow E_{kin} = E_{sp} \rightarrow$ Ionisierung E-H-Paar \rightarrow lawinenartige Ladungsträgerkonz.

Differentialer R: $R_{diff} = \frac{dI_{sp}}{dU_{sp}}$ (aus $I_{sp} - U_{sp}$ Kurve) \rightarrow W. Steigung \rightarrow gr. R Temp. Koeff. $\frac{d(U_{sp})}{dT} = -2 \frac{mV}{K}$ \rightarrow wegen $I_{sp}(T)$

Schnelldiode: \rightarrow $P-N$, N^+P Metall-HL-Übergang + kleine Flächspg. (0.2-0.5V) + geringe Schaltzeit - kleine Sperrspg. - hoher Sperrstrom

Zenerdiode: \rightarrow $P-N$, N^+P Diode mit definiertem Zener- v Lawinendurchbruch

Kapazitätsdiode: \rightarrow $P-N$, N^+P Betrieb im Sperrbereich $C_{sp} = Q_{sp} \cdot U_{sp}^{-1}$ $C_{(U_{sp})} = \frac{C_0}{1 + (\frac{U_{sp}}{U_0})^k}$ Kapazität nimmt mit zunehmender Sperrspg. ab

Speichereffekt: \rightarrow $P-N$, N^+P $I_{sp}(t) = \frac{u(t) - U_{sp}}{R}$ 1. Stromfluss auf Grund gespeicherter Ladung (Speichereff. C_s)
 2. Stromfluss durch Abfließen der Sperrschichtkapazität

Diffusionskapazität: Kommt im RLZ-Bereich durch gespeicherte Ladung zustande $C_D = \frac{\Delta Q_{sp}}{\Delta U_{sp}}$ $C_D \sim I_{sp}$ (Diffusionskapazität \sim Diff. Strom)

Einklemmschneider: $U_{sperr, min} = 2 \hat{u}$ $I_{bc} = \frac{\hat{u}}{R}$ $U_{br,ss} = \Delta U = \frac{I \cdot T}{C} = \frac{I}{C \cdot f}$

Brückenschneider: $U_{sperr, min} = \hat{u}$ $I_{bc} = \frac{\hat{u}}{2R} = \frac{\hat{u}}{2R}$ $U_{br,ss} = \Delta U = \frac{I \cdot T}{C} = \frac{I}{C \cdot f}$

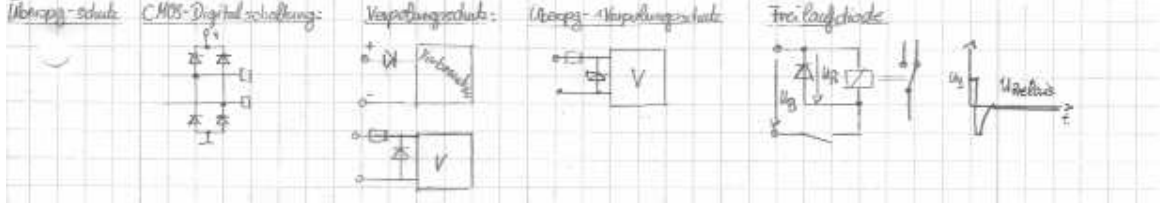
Zweigeschneider (Mehlfunktenschaltung): $U_{sperr, min} = 2 \hat{u}$ $I_{bc} = \frac{\hat{u}}{2R}$ $U_{br,ss} = \frac{I \cdot T}{2C} = \frac{I}{2C \cdot f}$

Ebers-Moll Modell: für Berechnung E - I_{sp} Rang v , Kennlinienfeldern; Stromwirkung in E-Schaltung $\beta_W = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_W}{I_{BE}}$... in B-Schaltung $\beta_W = \frac{-I_C}{I_E}$
 $I_C = \beta_W \cdot I_{BE} \cdot (e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1)$

Beispieltransistor: Dotierungskonzentration: $E =$ hoch $B =$ niedrig $C =$ mittel, Inversebetrieb: $E < C$ vertauscht, niedrige Stromverstärkung

Kennlinienfelder: I_C vs I_{BE} , I_C vs U_{BE} , I_C vs U_{CE}
 1) $\beta_{BE} = \frac{dI_{BE}}{dI_C}$ 2) $S = \frac{dI_C}{dU_{BE}}$ 3) $r_{CE} = \frac{dU_{CE}}{dI_C}$
 zu 3) Verläuft man die Geraden $\rightarrow -U_{sp}$ (Early-Spg., $-I_{sp}$)

Emitterschaltung	$V_i: 1 \text{ Bv} \dots 1000$	$V_o: 100 \dots 1000$	R_{in} mittel	R_o groß	Stromverstärkung	$v_i = \frac{I_B}{I_E}$
Basisschaltung	$-R_{in} < 1$	$+100 \dots 1000$	klein	groß	Spg.verstärkung	$v_u = \frac{U_o}{U_e}$
Kollektorschaltung	$-(1 \text{ Bv})$	$\approx +1$	groß	klein		$-I_E = I_B + I_C = (1 + \beta_W) I_B$



Verstärker Transitzeit = Zeit, die Elektronen brauchen, um die Basis (vom E → C) zu durchqueren $= \frac{1}{f_T}$

kleinsignal-Wechselstrom-Verstärker Koppel-Kondensator \rightarrow Abblockkondensator (gegen Masse)
 → Problem: Arbeitspunkt stabil einstellen \rightarrow "Lösung" Einprägung, z.B. durch Serienwiderstand von der Versorgungsspannung
 → Externplanarierung, Temperhaltung (Kühlspaltung d. Stromes je ΔK -Temperaturhöhung)

Temp. Kompensation Spg-Treiber durch R-Diode ersetzen
 Anwendung: IC, Leistungsverstärkung

Stromgegenkopplung $U_{BE} \approx U_{BE0} - R_E \cdot I_C$

Spg-gegenkopplung $\frac{U_{BE}}{U_{CE}} \approx \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

FET

n-Mosfet (selbstspannend)			MOSFET = metal-oxide-semiconductor field effect transistor
p-Mosfet (selbstspannend)			
n-Mosfet (selbstbelüftet)			selbstbelüftet = depletion mode
p-Mosfet (selbstbelüftet)			
n-JFET			JFET = junction field effect transistor
p-JFET			

Elektroden Gate, Drain, Bulk, Source U_{th} = Schwellenspannung (Threshold voltage)

$R_{DS(on)}$ = inverse Steigung der Ausgangskennlinie im Sättigungsbereich
 *Anwendungscharakteristik für Schalter $R_{DS(on)} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \Big|_{U_{GS}=0}$

Steigung der Übertragungskennlinie $S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$

optoelektronische Bauteile: Photodiode: photovoltaischer Betrieb photo-konduktiver Betrieb

Phototransistor: langsamer als Photodiode

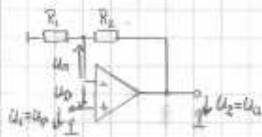
Leuchtdioden-Diode (LED) für: Anzeige, opt. Signalrezeption, Beleuchtung

Optokoppler für Signalübertragung $U_a = U_b - R_c \cdot I_c$ $I_c = 0$
 $I_c = \frac{U_b}{R_c}$ $U_b = 0$

OPV

nichtinvertierender Verstärker:

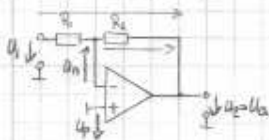
gilt zusammen nur für $V \rightarrow \infty$



$$V = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad U_a = V(U_p - U_n)$$

$$U_n = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_a \quad = V \left(U_p - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_a \right)$$

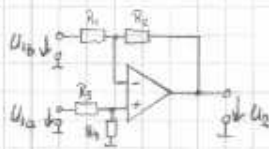
invertierender Verstärker:



$$V = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad U_a = V(U_p - U_n)$$

$$U_n = U_a + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (U_1 - U_a) \quad = -V \left(U_a \left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1 \right)$$

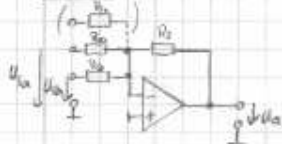
Subtrahierer (Eberschaltung, wegen Gegenkopplung)



$$U_2 = -\frac{R_3}{R_2} \cdot U_{1b} + \frac{R_1 + R_3}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_{1a} = \frac{R_3}{R_1} (U_{1a} - U_{1b}) \quad \text{für } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$U_2 = -\frac{R_3}{R_2} \cdot U_{1b} + \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3} \cdot U_{1a}$$

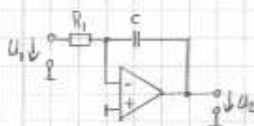
Rechner (invertierend)



$$U_a = -\left(\frac{R_2}{R_{1a}} \cdot U_{1a} + \frac{R_2}{R_{1b}} \cdot U_{1b} + \dots \right)$$

für $R_1 = R_{1a} = R_{1b} = R_{1c} = \dots$: $U_a = -\frac{R_2}{R_1} (U_{1a} + U_{1b} + \dots)$

Integrator



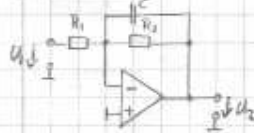
$$U_2(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int U_1(t) \cdot dt \quad U_2 = U_1 \cdot t \cdot \left(-\frac{1}{R_1 C} \right)$$

Differenzschaltung



$$u_2(t) = -R_2 \cdot C \cdot \frac{du_1(t)}{dt}$$

Tiefpassfilter



$$\frac{U_2(\omega)}{U_1(\omega)} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C}$$

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Hochpassfilter



$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{j\omega \cdot L/R_2}{1 + j\omega \cdot L/R_2} \quad f_g = \frac{R_2}{2\pi L}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C} \quad f_g = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$

Kondensator gibt Signale auslesen
Induktivität gibt Differenzieren

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Hz}$$

$\mu = \text{Beweglichkeit}$

Zusammenhang zw. $E_{\text{kin}} \leftarrow \text{Impuls}$

$$E_h = \frac{p^2}{2m_h} = \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2m_h}$$

$$E_e = \frac{p^2}{2m_e} = \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2m_e}$$

$x = \text{Wellenvektor}$

$$E \sim k^2$$

Fermi-Verteilung $f_0(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{k_B T}\right)}$ für $E - E_F \gg k_B T$ $f_0(E) \approx \exp\left(\frac{E - E_F}{k_B T}\right)$ „Boltzmannnäherung“

Ohmsches Gesetz $I = \frac{1}{R} \cdot U = \frac{q n_d}{e} \cdot U$ ^{Leitfähigkeit} Stromdichte $j = \frac{I}{A}$ el. Feldstärke $E = \frac{U}{l}$

Breiten der Sperrschicht $N_A \cdot x_p = N_D \cdot x_n$ MWS: $n_i^2 = n p$ $n = n_0 = \frac{n_i^2}{N_A}$ $p = p_0 = \frac{n_i^2}{N_D}$

Verlauf des Potentials $n(x) = n(-x_p) \cdot e^{\frac{e(U(x) - U(-x_p))}{k_B T}}$ $p(x) = p(-x_p) \cdot \exp\left(\frac{-e(U(x) - U(-x_p))}{k_B T}\right)$

effektive Zustandsdichte $N_C = 2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_e \cdot k_B \cdot T}{2\pi \hbar^2}\right)^{3/2} = 2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_e}{m_0}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{T}{300\text{K}}\right)^{3/2} \left(\frac{m_0 \cdot k_B \cdot 300\text{K}}{2\pi \hbar^2}\right)^{3/2}$