

Diode

Solarzelle

Photodioden im Generatorbetrieb betrieben (4.Quadrant des Kennlinienfeldes) Abb 6.1b & Abb 6.5

Trifft Photon auf RLZ einer Diode und ist dessen Energie größer als das Bandgap des Halbleiters, können Elektron-Loch-Paare generiert werden. Durch die RLZ werden die Teilchen von einander getrennt, was wie ein zusätzlicher Sperrstrom wirkt. Nur ein gewisser Anteil aller Photonen erzeugt Elektron-Loch-Paare \Rightarrow

$\eta = \frac{I_{foto}}{\frac{q}{h\nu} \Phi_{opt}}$. Um eine möglichst große Ausbeute zu erlangen, werden pin-Diode verwendet (größere RLZ). Wirkungsgrad $\eta = \frac{U_{max} * I_{max}}{P_{eingestrahlt}}$.

Tunneldiode

Tunneldiodenkennlinie und Bandschema Skriptum Seite 50 Abb. 2.21 & 51

Es wird so hoch dotiert, dass Entartung auftritt (das Fermi-niveau liegt im Valenz- bzw. Leitungsband bei p- bzw n-Halbleiter. Daher können Elektronen bereits bei geringen Spannung vom n- ins p-Gebiet tunneln. Bei weiterem Spannungsanstieg verhindern die bereits besetzten Zustände ein weiteres tunneln \Rightarrow Strom sinkt. Weiter steigende Spannung führt auf den normal Verlauf der Diodenkennlinie in Flussrichtung. Das charakteristische Merkmal der Tunneldiode ist der negative Stromanstieg (negativer Widerstand) in einem Teil der Kennlinie. Einsatzzweck: als schneller Schalter, als Verstärker und als Oszillatorelement.

Zenerdiode

Die Zenerdiode ist eine Diode mit hoher Dotierung ($10^{19} - 10^{20}$). Dadurch hat die Raumladungszone geringe Ausdehnung und es kann sich kein Lawineneffekt mehr ausbilden. Werden hohe Sperrspannungen angeschlossen, können Valenzelektronen (im p-Gebiet) aus ihren Bindungen gerissen werden. Diese Elektronen sehen die freien Plätze im n-Gebiet und tunneln durch die dünne Raumladungszone. Typische Werte für die Zenerspannung liegen zwischen 1,8V und 200V (Einstellung über die Dotierung). Im Bereich bis ca. 5V tritt nur der Zener-Effekt auf. Bei höheren Zenerspannungen wirkt zusätzlich zum Zener-Effekt auch ein Lawineneffekt. In Vorwärtsrichtung verhält sich die Zener-Diode wie eine normale Diode.

Bipolartransistor

Betriebsarten

Der Kollektorstrom des Bipolartransistors ist: $I_C = I_S * [e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - e^{\frac{U_{BC}}{U_T}}]$ mit

$$I_S = \frac{e * D_n * n_i^2 * A}{N_A * W_B}$$

Aktiver Betrieb (Vorwärtsbetrieb): $U_{BE} > 0, U_{BC} < 0$. Daher ist die zweite Exponentialfunktion zu vernachlässigen. $I_C \approx I_S * e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$

Inverser Betrieb (Rückwärtsbetrieb): $U_{BE} < 0, U_{BC} > 0$. erste Exponentialfunktion vernachlässigbar. $I_C \approx -I_S * e^{\frac{U_{BC}}{U_T}}$

Gesättigter Betrieb: $U_{BE} > 0, U_{BC} > 0$. beide Dioden injizieren - beide Exponentialfunktionen berücksichtigen. $I_C = I_S * [e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - e^{\frac{U_{BC}}{U_T}}]$

Sperrbetrieb: $U_{BE} < 0, U_{BC} < 0$ beide Dioden sperren $I_C = I_S$

Linearisierung des Bipolartransistors

Beim Linearisieren wird die Basis-Emitterdiode durch sein linearisiertes Kleinsignalmodell ersetzt (Widerstand $\frac{1}{g_m} = \frac{U_T}{I_{C0}}$). Der Kollektorstrom wird durch eine spannungsgesteuerte Stromquelle $I_C(U_{BE})$ ersetzt.

MOSFET

Stromquelle mit FET

$U_{GS} > U_{th}$ und $U_{GD} < U_{th} \Rightarrow$ asymmetrischer Kanal, der nicht bis zum Drain verläuft (es existiert ein Pinch-Off-Point)

MOSFET als Widerstand

$U_{GS} > U_{th}$ und $U_{GD} > U_{th} \Rightarrow$ es existiert ein durchgehender leitender Kanal zwischen Drain und Source. Wird U_{DS} vergrößert, steigt auch der Strom $\hat{=}$ ohmsches Verhalten.

J-FET

Welche Einschränkungen gibt es bei der Beschaltung?

Stromquelle mit JFET

Wird der Pinch-Off-Point erreicht ($U_{GD} = U_P$), wird der leitende Kanal abgeschnürt. Eine weitere Steigerung von U_{DS} hat keinen Stromanstieg mehr zufolge, da die Spannungserhöhung am gesperrten Bereich des Kanals abfällt.

JFET als Widerstand

Solange der Pinch-Off-Point nicht erreicht wird, leitet der JFET. Eine Erhöhung der Spannung führt zu einem größeren Strom (Verhalten eines Widerstands).
Abb 4.31

OPV

Virtueller Kurzschluss

$I_{e-} = I_{e+} = 0$ und $U_{ed} = 0$ entsprechen dem virtuellen Kurzschluss

N-MOS-Inverter

Wie ist er aufgebaut?

Abb 4.33 und 4.34a

Wie funktioniert er?

Solange $U_e < U_{th1}$ fließt kein Drainstrom. An T2 fällt lediglich $U_{DS2} = U_{th2}$ ab und die Ausgangsspannung ist $U_0 - U_{th2}$. Sobald $U_e > U_{th}$ fließt ein Drainstrom, welcher einen Spannungsabfall an T2 verursacht und die Ausgangsspannung ist U_{DS1} (Restspannung die an T1 abfällt).

Wie sieht die $U_a(U_e)$ -Kennlinie aus?

Abb 4.35

Wann bricht die Kennlinie ein?

Wieso geht die Kennlinie nicht auf 0V?

An der Drain-Source Strecke von T1 fällt auch im durchgeschalteten Bereich eine Spannung ab.

C-MOS-Inverter

Wie ist er aufgebaut?

Abb 4.36a, 4.37. Besteht aus einem n-Mos und einem p-MOS

Wie funktioniert er?

$U_e \approx 0 \Rightarrow U_{GS,n} \approx 0, U_{SG,p} \approx U_0$. n-MOS sperrt, p-MOS leitet, $U_a \approx U_0$
 $U_e \approx U_0 \Rightarrow U_{GS,n} > U_{th}, U_{SG,p} \approx 0$. n-MOS leitet, p-MOS sperrt, $U_a \approx 0$

Wie sieht die $U_a(U_e)$ -Kennlinie aus?

4.38

Wann bricht die Kennlinie ein?

Wieso geht die Kennlinie nicht auf 0V?

Leckstrom des sperrenden FETs verursacht einen Spannungsabfall am Serienwiderstand des leitenden FETs

Bipolarer Differenzverstärker

Was ist das, wie sieht die Schaltung aus und wie funktioniert er?

Abb 3.54. Verstärkt die Differenzspannung die zwischen den beiden Eingängen angelegt wird. Strom I_0 teilt sich, je nach Eingangsspannung U_{e1} und U_{e2} auf die beiden Transistoren T1 und T2 und deren Lastwiderstände auf \Rightarrow Ausgangsspannungsdifferenz.

Ist es ein Gleich- oder Gegentaktverstärker?

Gegentaktverstärker ??

Wie ist der Energieverbrauch dieser Schaltung?

$$P = U_B * I_0$$

Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

Wie schaut sie aus, wieso heißt sie so?

Skript Abb 3.43. Name Emitterschaltung kommt davon, dass der Emitter die gemeinsame Elektrode für Eingang und Ausgang ist. Stromgegenkopplung bedeutet, dass ein Teil des Ausgangsstroms an den Eingang zurückgeführt wird.

Wie funktioniert die Schaltung?

U_{e0} fällt an der Basis-Emitter Diode und am Emitterwiderstand ab \Rightarrow Kollektorruhestrom wird gegen Exemplarstreuungen der Steuerkennlinie stabilisiert. Da $I_q \gg I_B$ fällt die Streuung von B ebenfalls nicht ins Gewicht.

Woraus besteht die Stromgegenkopplung?

Aus dem Emitterwiderstand in Kombination mit einer Eingangsvorspannung U_{e0} . Oben mit einem Spannungsteiler.

Zeichnen Sie die $U_a(U_e)$ -Kennlinie

Abb 3.44

Was bewirkt die Stromgegenkopplung (Vor- und Nachteile)?

Unabhängigkeit bezüglich Exemplarstreuungen, jedoch eine kleinere Spannungsverstärkung

Stromspiegel

Was ist das und wie funktioniert er?

Abb 3.52b und 3.53 rechts. Funktionsweise der einfacheren Schaltung: der Strom durch den Widerstand R_V lautet $I_{R_V} = \frac{U_0 - U_f}{R_V}$. I_{B1} und I_{B2} sind klein gegen I_{R_V} und werden vernachlässigt. Beide Transistoren haben die gleiche Flussspannung U_f , was zum gleichen Basisstrom ($I_{B1} = I_{B2}$) führt. Da I_{B1} den Strom I_{R_V} hervorruft, wird der Strom I_{R_V} auch am Kollektor des zweiten Transistors von I_{B2} hervorgerufen \Rightarrow Stromspiegel.

Was ist ein Transistor mit kurzgeschlossener Kollektor-Basis-Strecke?

eine Diode (Abb 3.52c)

bipolarer Leistungstransistor

Abb 6.10 und 6.11. Durch die Bahnwiderstände in der Basis liegt direkt unterhalb des Emitteranschlusses weniger Basis-Emitter-Spannung an. Daher fließt der größte Teil des Kollektorstromes nicht direkt unterhalb des Emitters durch den Transistor. Verwendet man die Ausführung mit mehreren Basis- und Emitterfingern, kann der Basisbahnwiderstand verringert werden.

Abb 6.13. Leistungsbegrenzung

thermische Überlastung: durch Steigerung der Temp erhöht sich der lokale Stromfluss. Dadurch noch größere Temp. Dadurch können Bipolartransistoren nicht parallel geschaltet werden, da immer einer der Transistoren mehr Strom abbekommen würde - höhere Temp - mehr Strom - tot.

Leistungs MOSFET

R_{on} größer als bei Bipolar - daher muss Formfaktor groß sein (Breite/Länge des Kanals). Wegen Selbstisolation können MOSFETs parallel geschaltet werden - dadurch größere Strombelastbarkeit.

Abb 6.28 Drainanschlüsse aller MOSFETs sind miteinander verbunden (n-Substrat).

Drainanschluss des gesamten Transistors ist die Rückseite des Wafers. Vorteile gegen Bipolar: erheblich kleinere Eingangsleistungen, größere Schaltgeschwindigkeiten weil Majoritätsträgerbauelement, höhere thermische Stabilität (

Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

Abb 6.33. pnp-Transistor, der über einen n-MOS angesteuert wird. Der Drainstrom des n-MOS ist der Basisstrom des pnp. Ersatzschaltbild Abb 6.34. Leider parasitärer npn Transistor, der mit dem pnp einen Thyristor bildet. R muss klein sein um den Thyristor am zünden zu hindern.

Thyristor

Abb 6.36 Stromimpuls zwischen Gate und Kathode schaltet Thyristor durch. Abschalten nur möglich, wenn Anodenstrom kleiner als Haltestrom wird. Dann sperrt Thyristor wieder. Mittlere beiden Gebiete heißen Basis. n-Basis schwach dotiert, für große Spannungsfestigkeit. Falls $U_A < 0$ sind Übergang 1 und 3 gesperrt. Falls $U_A > 0$ ist Übergang 2 gesperrt. Wird gezündet, wird der Übergang 2 mit Elektronen und Löchern geflutet (Dichten viel größer als Dotierung) - dadurch wird der gesperrte Übergang wirkungslos.

Ersatzschaltbild Abb 6.38

TRIAC

im Wechselstrombereich kann der Thyristor nur eine der Halbwellen durchschalten. Will man beide Halbwellen nutzen, verwendet man zwei Antiparallel geschaltete Thyristoren (große Leistungen) oder einen Triac (mittlere Leistungen). Schaltungssymbol Abb 6.51.

Funktion: Abb 6.52a: $U_{A_2,A_1} > 0, U_{G,A_1} > 0$ p2-n3-Diode injiziert Löcher und Elektronen und überschwemmt p2-n1-Übergang \Rightarrow TRIAC leitet. Abb 6.52b: $U_{A_2,A_1} > 0, U_{G,A_1} < 0$ p2-n4-Diode leitet und überschwemmt p2-n1-Übergang - leitet. Abb 6.52c: $U_{A_2,A_1} < 0, U_{G,A_1} > 0$ ähnliche Funktion wie zuvor. Abb 6.52d: $U_{A_2,A_1} < 0, U_{G,A_1} < 0$ ähnliche Funktion wie zuvor.

Hetero-Bipolartransistor

bei Heterostruktur Bipolartransistoren ist das verwendete Halbleitermaterial nicht homogen über den gesamten Transistor verteilt. Es gibt Regionen, in denen andere Halbleitermaterialien oder Mischkristalle verwendet werden. ursprünglich nur Verbindungshalbleiter, aber Silizium-Germanium Mischkristalle besser für Großintegration Abb 6.61

- Emitter mit großem Bandgap
Bandgap von Emitter ist größer als von Basis. Dadurch kleine Injektion von Ladungsträgern. Stromverstärkung ändert sich mit dem Injektionsverhältnis - nimmt daher exponentiell mit der Änderung der Energielücke zu.
- inhomogenes Bandgap in der Basis
Zusammensetzung des Mischkristalls ändern - zum Kollektor abnehmende Energielücke wirkt wie Driftfeld - kleine Transitzeiten - schneller