

Einleitung allg. Operationsverstärker

- Begriff stammt aus ersten Anwendungen
- so wurden in Rechen – und Regelungstechnik math. Operationen wie addieren u. subtrahieren von Spannungswerten durchgeführt
- Kurzformen : OP, OPV, OpAmps
- heutiger Einsatzbereich vorwiegend in Analogtechnik
- OP's enthalten komplexe Innenschaltungen mit vielen Transistorfkt.
- Endstufe oft als Leistungsverstärker ausgelegt
- wesentlichen Eigenschaften eines OP's wird durch äußere Beschaltung bestimmt

Annahmen für idealen OV:

- unendliche Verstärkung
- unendliche Bandbreite
- unendlich hohe Gleichtaktunterdrückung
- unendlich hoher Eingangswiderstand (Differenzverstärkung und Gleichtaktverstärkung)
- Ausgangswiderstand Null → große Lasten können nachgeschaltet werden
- vernachlässigbare Driftgrößen, Ruhestrome
- vernachlässigbares Offset

Eigenschaften u. Kenndaten

- **Folie 3** → Schaltzeichen
- Bsp. für innere Beschaltung → **Folie 3** Schaltbild eines OPs vom Typ TBA 221
- interne Schaltungsaufbau ist für Anwender nur selten von Bedeutung
- OPs werden i.d. Regel mit zwei sym. +/- U_B betrieben
- hat stets zwei Eingänge (nicht invertierenden bzw. positiven u. invertierenden bzw. negativen)
- nicht invert. $\varphi=0^\circ$ Phasenverschiebung gegenüber Eingangssignal
- invertierender Eingang $\varphi=180^\circ$
- Ausgang im Schaltbild meist mit A gekennzeichnet
- zusammenfassend mind. 5 Anschlüsse : +/- Eingang, +/- Betriebsspannung, Ausgang
- hinzu kommen bei den meisten noch zwei Anschlüsse für externe Kompensation auf die später eingegangen werden wird

Leerlaufverstärkung V_0

- unbeschaltete OP hat sehr hohe Leerlaufverstärkung (Kennzeichnung V_0)
- liegt je nach Typ zwischen $1 \cdot 10^3$ bis $1 \cdot 10^5$
- dadurch führen bereits kleinere Eingangssignale zur Übersteuerung

Eingangs- und Ausgangsspannungen

- **Folie 5**
- die an den Eingängen liegenden Spannungen werden auf Masse bezogen (**Folie 5**)

- Diff. der Spannungen U_{e+} und U_{e-} werden als Differenz – Eingangsspannung U_D bezeichnet
 - nur diese wird vom OP verstärkt
 - es gilt: $U_D = U_{E+} - U_{E-}$ (**Folie 5**)
 - beim unbeschalteten OP wird U_D mit der Leerlaufverstärkung V_0 zu U_A verstärkt
 - es gilt: $U_A = V_0 \cdot U_D$ (**Folie 5**)
 - aus der Gleichung für die Differenz – Eingangsspannung läßt sich erkennen, daß sowohl positive als auch negative Werte möglich sind \rightarrow damit kann bei symmetrischen Betrieb des OPs mit $\pm U_B$ U_A ebenfalls positiv oder negativ werden
- : $U_{E+} > U_{E-} \rightarrow U_D$ positiv $\rightarrow U_A$ positiv
 $U_{E+} < U_{E-} \rightarrow U_D$ negativ $\rightarrow U_A$ negativ
 $U_{E+} = U_{E-} \rightarrow U_D=0V \rightarrow U_A=0V$
- in einem bestimmten Bereich arbeitet der OP nahezu linear $\rightarrow V_0$ ist in diesem Bereich konstant (**Folie 5**)
 - im Bereich der Übersteuerung ist $U_A \sim \pm U_B = \text{const.}$ egal ob U_E weiter erhöht wird

Offsetspannung U_0

- aus Übertragungsbild ist erkennbar, daß die Kennlinie durch den Nullpunkt verläuft
- entsprechend muss auch $U_A=0V$ betragen
- nur idealer OP weist solch ein Verhalten auf
- beim realen OP tritt dagegen eine Ausgangsspannung von einigen mV bei $U_D=0V$ auf
- da dieser Effekt zu Fehlern führt müssen zusätzliche Maßnahmen zur Kompensation erfolgen
- erfolgt dadurch, indem an einem Eingang eine zusätzliche Spannung gelegt wird, die so groß ist, daß $U_A=0V$
- diese zur Kompensation erforderliche Differenz – Eingangsspannung wird als Offsetspannung U_0 bezeichnet
- (**Folie 6**) zeigt Prinzip der Kompensation einer positiven Ausgangsspannung
- bei negativer U_A muß U_0 am Eingang E- umgepolt werden
- häufig besteht Möglichkeit durch externe Beschaltung U_0 zu kompensieren
- (**Folie 6**) zur Offsetkompensation werden beide Eingänge kurzgeschlossen und an Masse gelegt
- durch Verstellen eines Potentiometers, dessen Mittenanschluss an $-U_B$ liegt, wird $U_A=0V$ eingestellt
- zusätzliche Einflussgrößen sind Temperaturdrift, Langzeitdrift und eine instabile Betriebsspannung

Gleichtaktverstärkung V_{GL}

- werden beim OP E+ und E- mit der gleichen Spannung U_{GL} (Gleichtaktbetrieb) angesteuert, so müßte stets $U_A=0V$ betragen
- wieder nur beim idealen OP
- beim realen OP tritt dagegen Änderung der Ausgangsspannung um ΔU_A auf, wenn die an beiden Eingängen liegende Eingangsspannung um ΔU_{GL} geändert wird
- Verhältnis $\frac{\Delta U_A}{\Delta U_{GL}}$ wird als Gleichtaktverstärkung V_{GL} bezeichnet
- hervorgerufen durch kleinste Unterschiede in den Kennlinien der internen Transistoren soll sie als unerwünschte Größe möglichst klein sein (**Folie 7**)

- in Datenblättern anstelle einer Gleichtaktverstärkung meist Gleichtaktunterdrückung G als Maß für Qualität eines OP im Arbeitsbereich
- Gleichtaktunterdrückung $G = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_{GL}}$
- idealer OP $G = \infty$; realer OP $G = 10^3 - 10^5$
- Angabe erfolgt auch oft in dB , wobei die Werte dann zwischen 60 dB und 100 dB liegen

Frequenzverhalten

- OP ist ein Gleichspannungsverstärker \rightarrow untere Grenzfrequenz liegt bei $f_{GU} = 0$ Hz ; obere f_{GO} 1kHz also relativ niedrig
- (Folie 8)
- in den meisten Schaltungen werden die OPs mit externer Gegenkopplung betrieben
- \rightarrow Verstärkung wird herabgesetzt und Grenzfrequenz wird größer
- damit steigt auch die Bandbreite einer Verstärkerstufe mit OP deutlich an
- für jeden OP-Verstärkertyp wird die Transitfrequenz f_T als charakteristische Kenngröße angegeben
- ist ähnlich wie bei einem Transistor als die Frequenz definiert, bei der die Signalverstärkung ohne Gegenkopplung $V=1$ ist
- es gilt: $V \cdot f_{GO} = f_T = \text{const.}$
- bei realen OPs ist Verlauf von Leerlaufverstärkung V_0 nicht so linear wie angegeben
- dieses unerwünschte Verhalten wird durch Frequenzkompensation verhindert bzw. beseitigt

Literatur

Oberthur, Wolfgang(Hf.): Elektronik. Bd. 2: Bauelemente. Lehrbuch. 3. Auflage. München 1986

Fachkunde Elektrotechnik. 18. Auflage. Wuppertal 1989

Tietze, u.; Schenk, CH: Halbleiter –Schaltungstechnik. Springer Verlag.

Seifert, M.: Analoge Schaltungen. Hütlingen Verlag.