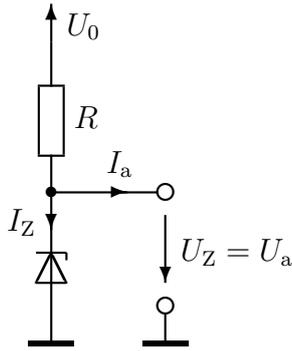


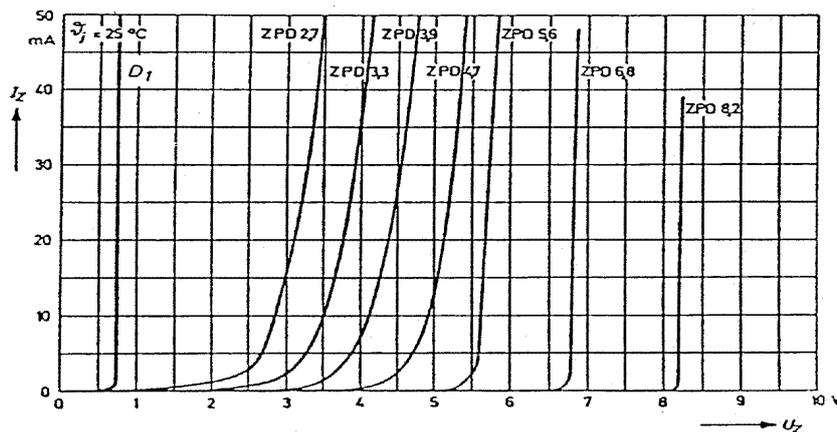
BEISPIEL 1.1: Referenzspannungsquelle mit Zenerdiode



Versorgungsspannung: $U_0 = 12 \text{ V}$
 Zenerstrom im Arbeitspunkt: $I_{Z0} = 35 \text{ mA}$
 Zenerdiode: ZPD 4,7

Mit dieser Schaltung soll aus einer möglicher Weise zeitlich schwankenden Versorgungsspannung U_0 eine möglichst konstante Ausgangsspannung U_a gewonnen werden. Weiters soll die Schaltung als Spannungsquelle arbeiten, d.h. die Ausgangsspannung soll möglichst unabhängig von der angeschlossenen Last sein. Die Qualität der Schaltung wird durch die *Line Regulation* u_a/u_0 (Verhältnis der Änderung der Ausgangsspannung zur Änderung der Versorgungsspannung) und durch den *Ausgangswiderstand* $r_a = -u_a/i_a$ (=Verhältnis der Änderung der Ausgangsspannung zur Änderung des Ausgangsstroms) charakterisiert.

- Dimensionieren Sie den Widerstand R so, dass bei unbelasteter Spannungsquelle ($I_{a0} = 0$) der gewünschte Strom I_{Z0} durch die Zenerdiode fließt.
- Welchen Strom I_a darf man der Spannungsquelle maximal entnehmen, damit U_a gegenüber dem Leerlauf um weniger als 1% abfällt?
- Berechnen Sie die Line Regulation.



LINEARISIERUNG

Betrachte: Netzwerk mit nichtlinearen Bauelementen

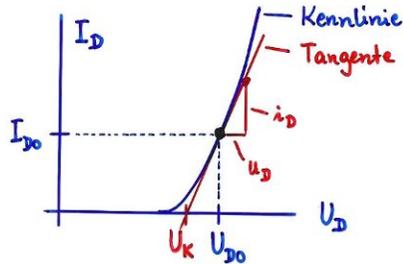
Bei „kleinen“ Abweichungen von einem „Arbeitspunkt“

$$I_x = I_{x0} + i_x$$

$$U_x = U_{x0} + u_x$$

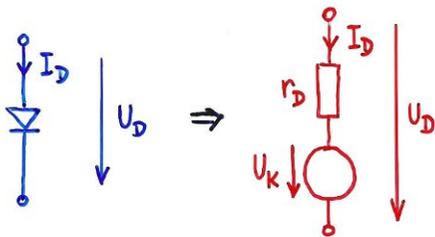
I_{x0}, U_{x0} ... Ruhestrom, -spannung
 i_x, u_x ... Kleinsignale

Lässt sich die Kennlinie durch ihre Tangente im Arbeitspunkt annähern:



reziproke Steigung:
 $r_D = \frac{u_D}{i_D}$
 „differenzieller Widerstand“

Das Bauelement lässt sich dann durch ein linearisiertes Modell beschreiben:



Bauelement

linearisiertes Modell

WICHTIG:

U_K, r_D hängen vom Arbeitspunkt ab !

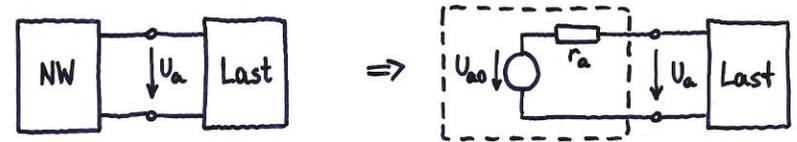
Vorteil: Man erhält ein lineares Netzwerk, auf das alle Methoden der linearen Netzwerkanalyse anwendbar sind (Thevenin-, Norton-Theorem, Superpositionsgesetz, ...)

Einschränkung: Die Abweichungen vom Arbeitspunkt müssen klein genug sein, dass die Tangente eine gute Approximation der Kennlinie ist.

KLEINE ÄNDERUNGEN DER „LAST“

Betrachte: Änderung oder Zuschalten einer „Last“

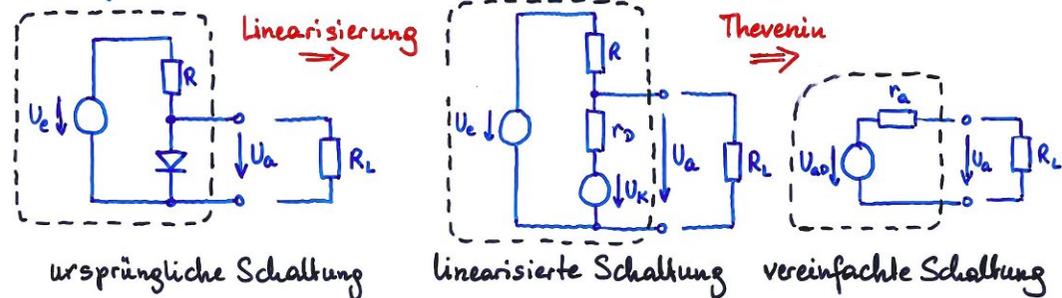
Falls nur „kleine“ Änderungen an den nichtlinearen Bauelementen des Netzwerks NW auftreten, können diese durch ihre linearisierten Modelle ersetzt werden. Nach Thevenin kann dann NW durch eine Spannungsquelle (U_{a0}) mit Innenwiderstand (r_a) ersetzt werden:



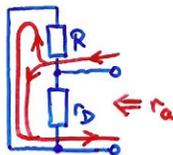
Die Leerlaufspannung U_{a0} ist die Spannung im unbelasteten Fall.

Den (differenziellen) Ausgangswiderstand r_a erhält man, indem man in der linearisierten Ersatzschaltung von NW alle unabhängigen Quellen null setzt (einschließlich der unabh. Quellen der linearisierten Bauelementemodelle „ U_K “; nicht jedoch gesteuerte Quellen) und den Widerstand zwischen den Klemmen bestimmt.

Beispiel: Bestimme ΔU_a beim Anschließen von R_L



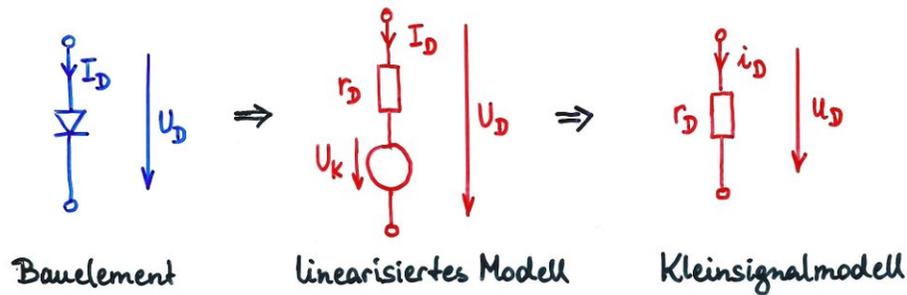
- aus ursprünglicher Schaltung: Leerlaufspannung $U_{a0} = U_f$
- aus linearisierter Schaltung: Ausgangswiderstand $r_a = R \parallel r_D$
- aus vereinfachter Schaltung: $U_a = U_{a0} \cdot \frac{R_L}{r_a + R_L}$; $\Delta U_a = U_a - U_{a0}$



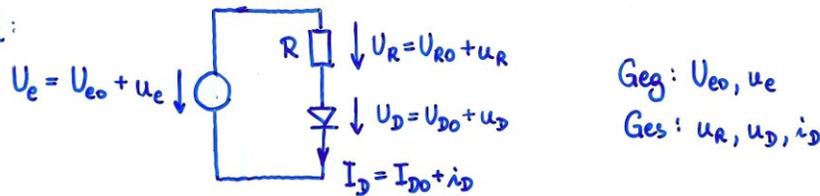
KLEINSIGNALANALYSE

Betrachte: Änderung einer Quelle

Falls nur „kleine“ Änderungen an den nichtlinearen Bauelementen auftreten, können die Änderungen (i_x, u_x) im Netzwerk durch Analyse der Kleinsignalersatzschaltung ermittelt werden. Diese erhält man dadurch, dass man in der ursprünglichen Schaltung alle konstanten Quellen null setzt, die veränderliche Quelle durch ihre Änderung und alle nichtlinearen Bauelemente durch ihre Kleinsignalmodelle ersetzt. Die Kleinsignalmodelle erhält man aus den linearisierten Modellen, indem man unabhängige Quellen null setzt:

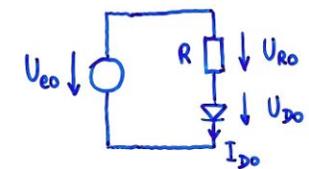


Beispiel:



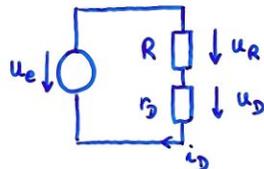
Schritt 1: Arbeitspunktanalyse

Schritt 2: Kleinsignalanalyse



$$U_{D0} = U_f, \quad U_{R0} = U_{e0} - U_f$$

$$I_{D0} = U_{R0} / R$$



$$r_D = \frac{n U_T}{I_{D0}}, \quad u_D = u_e \frac{r_D}{r_D + R}$$

$$u_R = u_e - u_D, \quad i_D = u_D / r_D$$

DIE DIODE

Diodenkennlinie:

$$I_D = I_S \cdot \left[\exp\left(\frac{U_D}{n U_T}\right) - 1 \right]$$

I_S ... Sperrstrom
 $U_T = \frac{kT}{e} = 25 \text{ mV}$ bei RT
 ... Temperaturspannung
 $n = 1..2$... Idealitätsfaktor

Differenzieller Leitwert: $g_D = \frac{dI_D}{dU_D} = \dots = \frac{I_{D0}}{n U_T}$

Differenzieller Widerstand: $r_D = \frac{1}{g_D} = \frac{n U_T}{I_{D0}}$

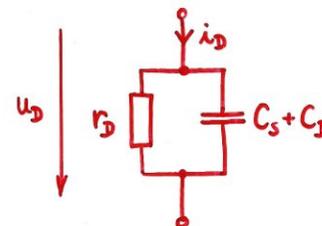
Der differenzielle Widerstand hängt also vom Arbeitspunkt (I_{D0}) ab!
 \Rightarrow Vor der Kleinsignalanalyse muss eine Analyse des Arbeitspunkts erfolgen.

Näherungsweise Analyse des Arbeitspunkts:

$U_{D0} = U_f$ ($\approx 0,7 \text{ V}$) ... Flussspannung
 I_{D0} aus Analyse der Schaltung

Grenze für Kleinsignalanalyse: $|u_D| \ll n U_T$

Dynamisches Kleinsignalmodell der Diode:



C_s ... Sperrschichtkapazität
 (im Flussfall meist vernachlässigbar)
 C_D ... Diffusionskapazität
 (im Sperrfall vernachlässigbar)

$$C_D = g_D \cdot \tau_T$$

τ_T ... Transitzeit