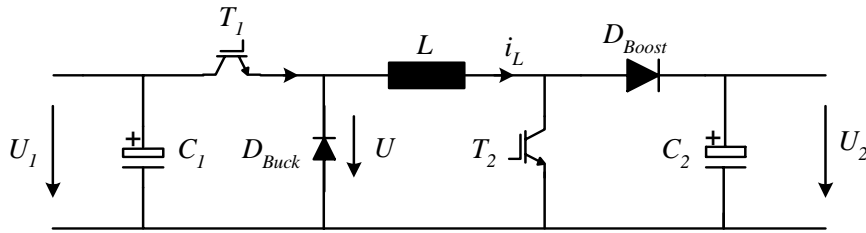


B. Buck + Boost-Konverter



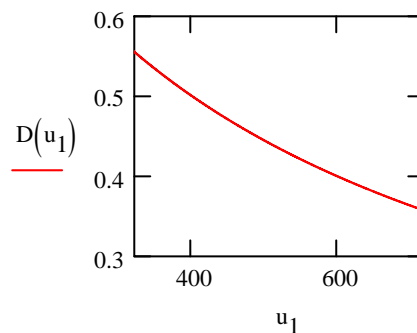
$$U_1 = 320\text{V} \dots 720\text{V} \quad U_2 := 400\text{V} \quad P_2 := 5000\text{W} \quad f_s := 25\text{kHz} \quad T_s := \frac{1}{f_s}$$

1. a) $U_2 = U_1 \cdot \frac{1}{1 - D_2}$ $U = U_1 \cdot D_1$ **mit:** $D_1 = D_2 = D$

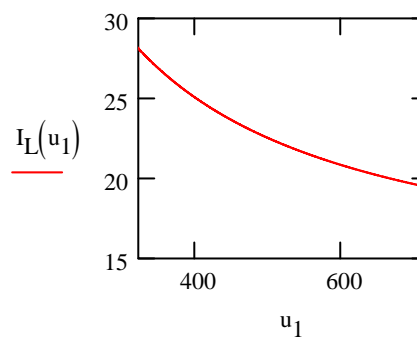
$$U_2 = \frac{D}{1 - D} \cdot U_1 \quad D := \frac{U_2}{U_1 + U_2} \quad D := \frac{\frac{U_2}{U_1}}{1 + \frac{U_2}{U_1}}$$

b) $I_2 := \frac{P_2}{U_2}$

$$I_L = I_2 \cdot \frac{1}{1 - D} = I_2 \cdot \left(1 + \frac{U_2}{U_1} \right)$$



U_1	D	I_L
320V	0.56	28A
400V	0.5	22.5A
720V	0.36	19.5A



2. a) $I_{L\max}$ **bei** $U_1 := 320\text{V}$

b) $P_2 := U_2 \cdot I_2$

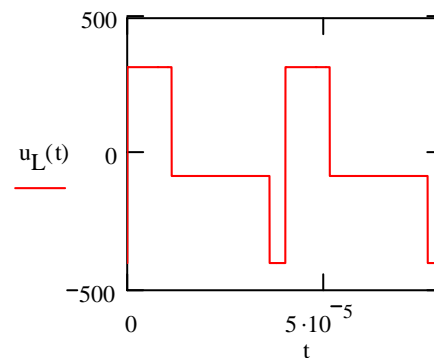
$$P_{2_720} := U_2 \cdot I_{L\max} \cdot \frac{1}{1 + \frac{U_2}{U_1}} \quad P_{2_720} = 7.2\text{kW}$$

$$\frac{P_{2_720}}{P_2} = 1.44$$

3. a) **Fall 1:**

$$U_1 := 320\text{V} \quad D_1 := 0.9 \quad D_2 := 1 - D_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} \quad (\text{folgt aus } U_L = 0) \quad D_2 = 0.28$$

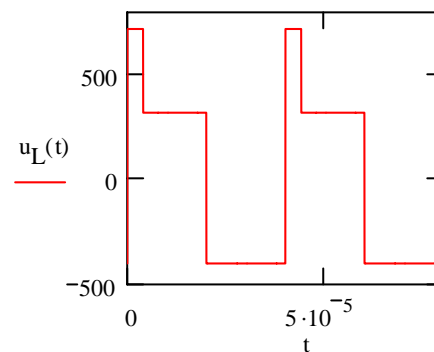
$$\begin{aligned} U_L &:= U_1 & , \quad 0 \leq t \leq D_2 \cdot T_s \\ U_L &:= U_1 - U_2 & , \quad D_2 \cdot T_s \leq t \leq D_1 \cdot T_s \\ U_L &:= -U_2 & , \quad D_1 \cdot T_s \leq t \leq T_s \end{aligned}$$



Fall 2:

$$U_1 := 720\text{V} \quad D_2 := 0.1 \quad D_1 := \frac{U_2}{U_1} \cdot (1 - D_2) \quad D_1 = 0.5$$

$$\begin{aligned} U_L &:= U_1 & , \quad 0 \leq t \leq D_2 \cdot T_s \\ U_L &:= U_1 - U_2 & , \quad D_2 \cdot T_s \leq t \leq D_1 \cdot T_s \\ U_L &:= -U_2 & , \quad D_1 \cdot T_s \leq t \leq T_s \end{aligned}$$



b) **Aus** $U_L := 0$ **folgt:** $\frac{U_2}{U_1} = \frac{D_1}{1 - D_2}$

c) $I_L = I_2 \cdot \frac{1}{1 - D_2} = \frac{P_2}{U_2} \cdot \frac{1}{1 - D_2}$

d) **Ja!** Mittelwert-Beziehungen unabhängig von Taktung / Taktfrequenz.

4. a) $P_{vt1} = D_1 \cdot U_F \cdot I_L = D_1 \cdot U_F \cdot \frac{P_2}{U_2} \cdot \frac{1}{1 - D_2}$ $P_{vt2} = D_2 \cdot U_F \cdot \frac{P_2}{U_2} \cdot \frac{1}{1 - D_2}$

Gesamtverluste: $P_V = (D_1 + D_2) \cdot U_F \cdot \frac{P_2}{U_2} \cdot \frac{1}{1 - D_2}$

einsetzen: $D_1 = \frac{U_2}{U_1} \cdot (1 - D_2)$ $P_V = \frac{P_2 \cdot U_F}{U_1} + \frac{P_2 \cdot U_F}{U_2} \cdot \frac{D_2}{1 - D_2}$

P_V **minimieren:** $f(D_2) = \frac{D_2}{1 - D_2}$

$$\frac{d}{dD_2} f(D_2) = \frac{1}{(1 - D_2)^2} = 0$$

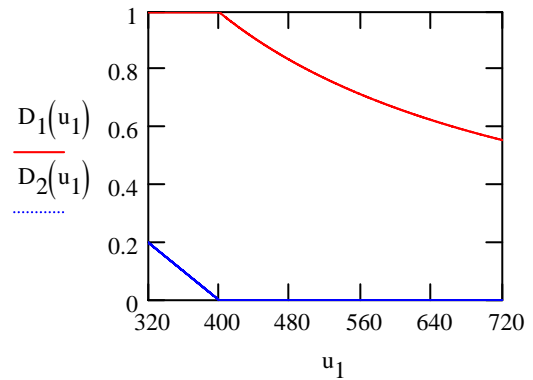
Keine Lösung!

- D_2 so klein wie möglich wählen!
- Transistor T_2 nur für Boost-Betrieb einschalten!
- D_1 so gross wie möglich!

b)

U_1	D_1	D_2	P_V	η_{opt}
320V	1	0.2	46.88W	99.071
400V	1	0	31.25W	99.379
720V	0.56	0	17.36W	99.650

mit: $P_V = P_2 \cdot U_F \cdot \left(\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} \cdot \frac{D_2}{1 - D_2} \right)$



c)

U_1	D_1	D_2	P_V	η_D
320V	0.56	0.56	78.12W	98.462
400V	0.5	0.5	62.50W	98.765
720V	0.36	0.36	35.16W	99.300

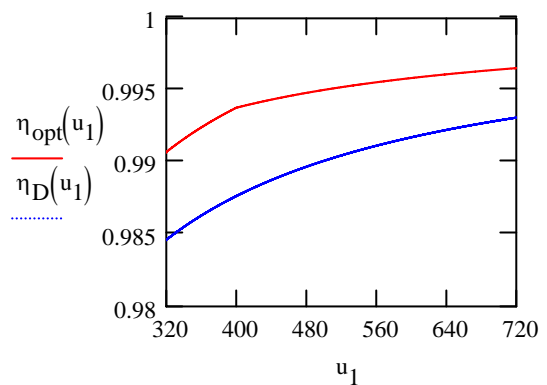
mit $D_2 = D_1 = D$

$$P_V = 2 \cdot D \cdot U_F \cdot I_L = \frac{U_F \cdot P_2}{U_2} \cdot \frac{2 \cdot D}{1 - D}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_V} = \frac{1}{1 + \frac{P_V}{P_2}}$$

η_{opt} : **Optimale Steuerung**

η_D : **Steuerung bei $D_1 = D_2$**



d) Wirkungsgradgewinn: $\Delta\eta = \eta_{opt} - \eta_D$

U_1	$\Delta\eta$
320V	0.609
400V	0.614
720V	0.350

Max Gewinn bei $U_1 = 400V$

Offensichtlich ist Wirkungsgradgewinn im Boost-Bereich grösser, aber:

- Warum bei $U_1 = 400V$
- Oder vielleicht nur Rundungsfehler?

Verlustleistungen im Boost-Bereich:

$$P_{V_opt} = D_1 \cdot U_F \cdot I_L + D_2 \cdot U_F \cdot I_L = \frac{U_F \cdot P_2}{U_1} + \frac{U_F \cdot P_2}{U_1} \cdot \left(1 - \frac{U_1}{U_2}\right) = \frac{2 \cdot U_F \cdot P_2}{U_1} - \frac{U_F \cdot P_2}{U_2}$$

$$\text{mit: } I_L := \frac{P_2}{U_1} \quad D_1 = 1 \quad D_2 = 1 - \frac{U_1}{U_2}$$

$$P_{V_D} = D_1 \cdot U_F \cdot I_L + D_2 \cdot U_F \cdot I_L = \frac{U_F \cdot P_2}{U_1} + \frac{U_F \cdot P_2}{U_1} = \frac{2 \cdot U_F \cdot P_2}{U_1}$$

$$\text{mit: } I_L = \frac{P_2}{U_2} \cdot \frac{1}{1-D} \quad D_1 = D_2 = D \quad D = \frac{U_2}{U_1 + U_2}$$

$$\eta_{opt} = \frac{1}{1 + \frac{P_V}{P_2}} = \frac{1}{1 + U_F \cdot \left(\frac{2}{U_1} - \frac{1}{U_2}\right)} \quad \eta_D = \frac{1}{1 + U_F \cdot \frac{2}{U_1}}$$

$$\Delta\eta = \eta_{opt} - \eta_D = \frac{\frac{U_F}{U_2}}{\left(1 + \frac{2 \cdot U_F}{U_1} - \frac{U_F}{U_2}\right) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot U_F}{U_1}\right)} \quad \Delta\eta \text{ minimal bei maximalem } U_1$$

Begründung: die Verlustleistungen P_{V_opt} und P_{V_D} unterscheiden sich im Boost-Bereich nur durch

den konstanten Faktor $\frac{P_2 \cdot U_F}{U_2}$, der sich auf den Wirkungsgrad bei kleineren

Verlustleistungen (hier grössere U_1) verhältnismässig mehr auswirkt.

5. a) **Buck-Bereich:** $I_L := I_2$

$$I_L = 12.5 A$$

Boost-Bereich: $D_2 = I_2 - \frac{U_1}{U_2}$

$$I_L = I_2 \cdot \frac{1}{1 - D_2} = I_2 \cdot \frac{U_2}{U_1}$$

$$I_{L_max} \text{ bei } U_1 := 320V$$

$$I_{L_max} := 15.63A$$

I_{L_max} im Vergleich zu $D_1 = D_2$ geringer, da Boost-Schalter weniger aktiv (Boost-Aktivität verursacht höheren I_L)