

# ELECTRONICĂ DE PUTERE - PROIECT

## SCOP

Fiecare echipă va proiecta o topologie de convertor dc-dc cu izolare galvanica, inclusiv circuitul de comandă și va demonstra funcționarea acestuia.

## SPECIFICAȚII DE PROIECTARE

Convertor dc-dc *Cuk cu izolare*, funcționând CCM, fără buclă de reacție. În transformator cele două bobine se admit perfect cuplate,  $N_1$  și  $N_2$  reprezentând numele de spire corespunzătoare.

Tensiune de ieșire: 5V

Pulsăriile tensiunii de ieșire: 50mV<sub>VV</sub>

Tensiune de intrare minimă: 9V

Tensiune de intrare maximă: 14V

Putere minimă la ieșire: 5W

Putere maximă la ieșire: 10W

Frecvența de comutație: 80kHz

Se presupune că există o buclă de reacție care ajustează factorul de umplere în funcție de alimentare și sarcină astfel încât la ieșire să se obțină tensiunea dorită.

## ETAPE

1. Stabiliți *sensurile* tensiunilor capacitive și ale curenților inductivi pentru care aceste mărimi rezultă pozitive. Determinarea modului de comutație al diodelor în raport cu cele două stări ale tranzistorului.
2. *Analiza dc.* Determinați *literal* valorile medii ale tensiunilor capacitive și ale curenților inductivi în cazul *ideal*, în funcție de tensiunea de alimentare  $V_g$ , comanda  $D$ , rezistența de sarcină  $R$  și raportul de transformare  $n = \frac{N_2}{N_1}$ . Verificați că sensurile determinate la punctul 1) conduc într-adevăr la mărimi medii pozitive. Raportul static de conversie ideal,  $M_{ideal}$  și dependența sa în raport cu  $D$ , având pe  $n$  parametru – familie de curbe pe același grafic. Efectuați toate calculele într-un *fișier Matlab* folosind calculul simbolic.
3. Trasați principalele *forme de undă* în cazul ideal: tensiunile și curenții inductivi, tensiunile și curenții în primar și secundar, curenții capacitive, tensiunile capacitive, curenții și tensiunile aferente fiecărui element semiconductor.
4. *Analiza ac.* Calculul *literal* al pulsărilor vârf la vârf pentru curenții inductivi și tensiunile capacitive în funcție de  $V_g$ ,  $D$ , inductanța de magnetizare,  $L_M$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $C_{1a}$ ,  $C_{1b}$ ,  $C_2$ ,  $R$ ,  $n$  și  $f_s$ . Folosiți programul Matlab pentru a vă ușura calculele.
5. Calculul *literal* al *solicitărilor* în *tensiune*, de curent *mediu* și curent *rms* pentru elementele semiconductoare, în cazul *ideal*. Solicitările se vor exprima în funcție de  $V_o$ ,  $P_o$ ,  $V_g$  și  $n$ . Pentru valorile rms de curent efectuați calculul *aproximativ* în care se

neglijă pulsațiile și *exact*, folosind Anexa A din Campusul Virtual. Efectuați toate calculele într-un fișier Matlab.

6. Deduceți *condițiile* de funcționare CCM și condițiile de funcționare *necondiționată* CCM în cazul ideal. Utilizați pentru calculul literal programul *Matlab*.
7. *Dimensionarea* transformatorului și a elementelor *reactive* în cazul *ideal* – Efectuați toate calculele într-un fișier Matlab.
8. *Simularea* părții de putere în cazul *ideal* - fișier Caspoc. Se vor *verifica* principalele *forme de undă* deduse anterior teoretic, solicitările de tensiunile, curenții *medii* și curenții *rms* prin semiconductoare, precum și pulsațiile curenților inductivi și ale tensiunilor capacitive. Se va valida prin simulare condiția de funcționare CCM. Pentru verificare calculele numerice se vor efectua într-un fișier Matlab. Nu uitați să ajustați parametrii elementelor semiconductoare astfel încât acestea să fie cât mai apropiate de corespondentele lor ideale.
9. Alegeți *elementele semiconductoare* și *capacitățile* din foile de *catalog*.
10. Pentru un punct de funcționare – pereche  $V_g$ - $P_o$  – ales arbitrar, calculați, folosind rezultatul punctului precedent, factorul de umplere necesar, apoi *simulați* din nou convertorul cu componente *reale* și verificați dacă *pulsătile vârf la vârf ale tensiunii de ieșire* se încadrează în specificații. În caz contrar reluați proiectarea sau propuneți o metodă de remediere. *Fișierul Caspoc* sau echivalent rezultă imediat din ajustarea celui corespunzător convertorului ideal.
11. Pentru o tensiune de alimentare aleasă arbitrar, reprezentați *pe același grafic* raportul static de conversie în funcție de factorul de umplere în 2 situații: convertor ideal și convertor cu pierderi de conducție în care *se neglijă pulsațiile* curenților inductivi și ale tensiunilor capacitive. Scrieți un program Matlab în acest sens.
12. Calculul pierderilor și a randamentului. Determinați *literal* expresiile pierderilor pe dispozitive, apoi calculați randamentul în cele două moduri arătate la curs pentru punctul de funcționare de la punctul 11. Efectuați toate calculele într-un fișier Matlab.
13. Elaborați schema de comandă folosind *circuite integrate dedicate* și desenați *schemă completă* a convertorului la funcționarea în buclă deschisă. Consultați și materialul auxiliar furnizat.
14. Construiți practic convertorul și demonstrați funcționalitatea acestuia.
15. Prezentarea proiectului în fața întregii subgrupe folosind un fișier *Powerpoint* sau *Acrobat* (12 minute prezentare + 5 minute întrebări). Toți membrii echipei vor prezenta în mod egal, după cum au decis în prealabil să-și partajeze prezentarea.

## CONTINUT RAPORT

1. Schema convertorului cu modelul transformatorului. Explicarea alegerii sensurilor pentru tensiunile capacitive și curenții inductivi.
2. Desenarea stărilor topologice. Rezolvarea circuitului *ideal* din punct de vedere al valorilor medii de curenți inductivi și tensiuni capacitive - *doar ecuațiile inductive și*

capacitive *inițiale* și rezultatele *finale* date de programul Matlab. Raportul static de conversie *ideal* – formula, rezultat final. Dependența  $M_{ideal} = f(D)$  cu  $n$  parametru – doar graficul rezultat din rularea fișierului Matlab.

3. Graficele formelor de undă - fără explicații.
4. Formulele prin care s-au dedus pulsațiile, inclusiv calculul intermediu.
5. Formulele inițiale de calcul pentru solicitări și rezultatele finale obținute în Matlab.
6. Deducerea completă a condițiilor de funcționare CCM și necondiționat CCM, scrise în formă canonica.
7. Condițiile inițiale de dimensionare ale elementelor reactive și rezultatele finale furnizate de fișierul Matlab.
8. Rezultatele numerice ale comparației Matlab – Caspoc în formă tabelară.
9. Formulele literale și rezultatele numerice ale parametrilor după care se face alegerea. Tipurile de semiconductoare și capacitați alese din catalog și valorile parametrilor lor de pierderi.
10. Se va specifica punctul de funcționare ales, factorul de umplere calculat și se vor furniza explicațiile legate de pulsații.
11. Graficele rezultate în urma rulării programului Matlab.
12. Formulele finale pentru pierderile pe dispozitive în funcție de  $V_g$ ,  $V_o$ ,  $P_o$ ,  $n$ ,  $f_s$  și elementele de pierderi rezultatele în urma rulării fișierului Matlab.
13. Schema de comandă – explicarea funcționării și schema finală a convertorului cu comandă în buclă deschisă.
14. Schema completă realizată experimental – demonstrare funcționare.

Obs. O echipă va întocmi un singur raport și va preda un singur set de fișiere.

# Converter dc-dc cu izolare

Converter dc-dc cu izolare, funcționând CCM, fără lemnă de reacție. În transformator, cele două bobine se admit perfect cuplate,  $N_1$  și  $N_2$  reprezentând numărul de spire corespunzătoare

Tensiunea de ieșire: 5V

Pulsatia tensiunii de ieșire: 50mV<sub>pp</sub>

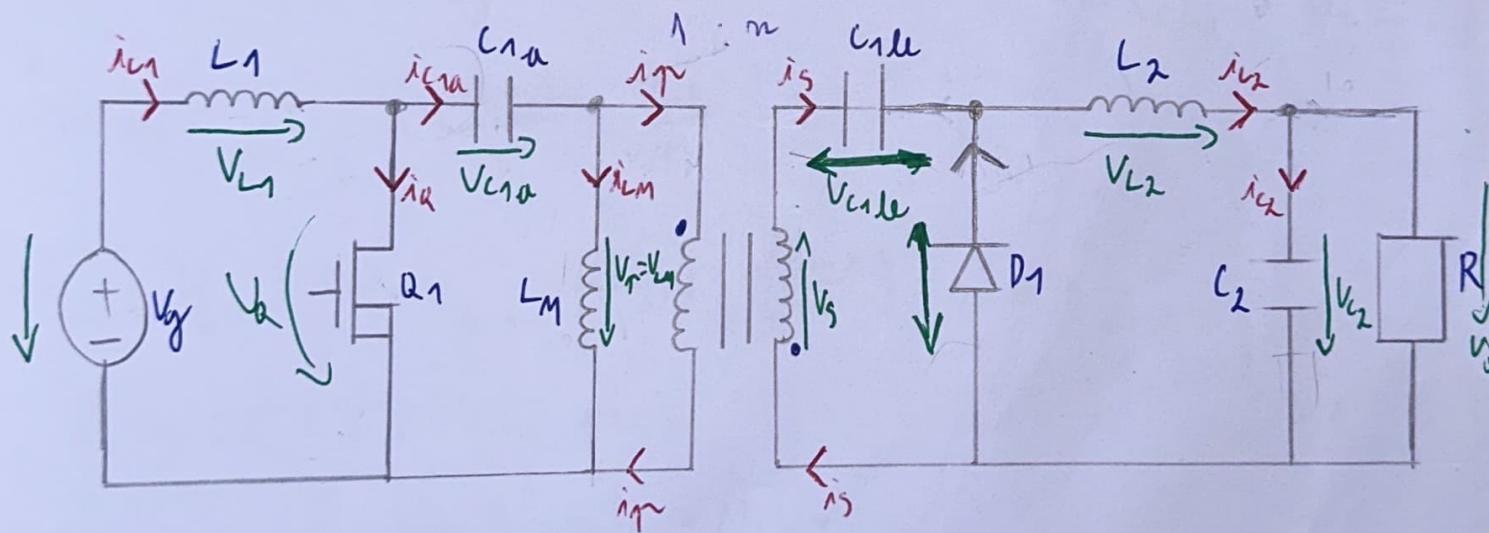
Tensiunea de intrare minimă: 9V

Tensiunea de intrare maximă: 14V

Puterea minimă la ieșire: 5W

Puterea maximă la ieșire: 10W

Frecvența de comutatie: 80KHz



1) Calcul TENSIUNI (în funcție de  $V_g$ , D, R,  $n = \frac{N_2}{N_1}$ )

$$V_{C1a} = -V_{L1} + V_g - V_{LM}$$

$$V_{C1a} = \overline{v_{C1a}} = -V_{C1} + V_g - V_{LM} = -\overline{v_{L1}^0} + V_g - \overline{v_{LM}^0} \Rightarrow \\ \Rightarrow \boxed{V_{C1a} = V_g}$$

$$V_{C1b} = -V_S - V_{C2} - V_{L2}$$

$$V_{C1b} = \overline{v_{C1b}} = -\overline{V_S} - \overline{V_{C2}} - \overline{V_{L2}} = -n \overline{V_{LM}} - V_{C2} = -V_{C2}$$

$$V_{C1b} = -V_{C2} = -V_0 = -M \cdot V_g = n \cdot \frac{D}{1-D} \cdot V_g \quad \begin{aligned} &\Rightarrow \text{com schimbare} \\ &\text{densitate tensiunii } V_{C1b} \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{LM} \text{ an} = -V_{C1a} = -V_g \\ \cdot \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{LM} \text{ off} = \frac{V_S}{n} = -\frac{V_{C1b}}{n} = \frac{V_{C2}}{n} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow V_{C1b} = +n \frac{D}{1-D} V_g$$

$$\overline{v_{LM}} = V_{LM} = D(-V_g) + (1-D)\left(\frac{V_{C2}}{n}\right) = 0 \Rightarrow$$

$$D \cdot V_g = \frac{1}{n} (1-D) V_{C2}$$

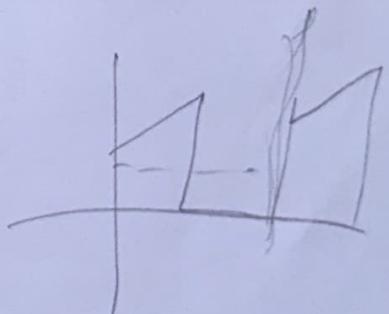
$$\boxed{V_{C2} = n \frac{D}{1-D} \cdot V_g} \Rightarrow V_{C2} = M \cdot V_g$$

PT. Transformator:

$$M = \frac{V_0}{V_g}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \cdot i_{ptn} \cdot i_0 = 0 \\ \frac{V_p}{n} = \frac{V_{LM}}{n} = \frac{V_S}{n} \\ n = \frac{N_2}{N_1} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} V_S &= n V_p \\ V_p &= \frac{V_S}{n} \end{aligned}$$



2. Calcul CURENTI (în funcție de  $V_g$ , D, R,  $n = \frac{N_2}{N_1}$ )

$$\gamma_{LM} = ? ; \gamma_{L1} = ? ; \gamma_{L2} = ?$$

$$i_{C1a} = i_{LM} + i_{r1} \xrightarrow{\text{med}} \gamma_{C1a} = \gamma_{LM} + \gamma_r = \gamma_{LM} - n\gamma_s = \gamma_{LM} - n\gamma_{C1b} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\gamma_{LM} = 0}$$

$$M = \frac{V_0}{V_g} = \frac{\gamma_g}{\gamma_0}$$

$$\gamma_{L1} = \gamma_g = M \cdot \gamma_0 = M \cdot \frac{V_0}{R} = M \cdot \frac{M \cdot V_g}{R} = M^2 \frac{V_g}{R} = M^2 \frac{D^2}{(1-D)^2} \cdot \frac{V_g}{R} \Rightarrow$$

$$\underline{\gamma_{L1} = n^2 \frac{D^2}{(1-D)^2} - \frac{V_g}{R}}$$

$$i_{L2} = i_{C2} + i_0 \xrightarrow{\text{med}} \gamma_{L2} = \gamma_{C2}^0 + \gamma_0 \Rightarrow \gamma_{L2} = \gamma_0$$

$$\gamma_{L2} = \frac{\gamma_g}{M} = \frac{V_0}{R}$$

$$\gamma_{L2} = \frac{\gamma_g}{M} = \frac{\gamma_0}{M \cdot V_g} = \frac{V_0^2}{M \cdot V_g \cdot R} = \frac{M^2 \cdot V_g^2}{M \cdot V_g \cdot R} = \frac{M \cdot V_g}{R}$$

$$\gamma_{L2} = n \cdot \frac{D}{1-D} \cdot \frac{V_g}{R} \quad \text{iar } \gamma_{L2} = \frac{V_0}{R} = \frac{M \cdot V_g}{R} = n \cdot \underline{\frac{D}{1-D} \cdot \frac{V_g}{R}}$$

$$V_{L1}, V_{L2}, i_{L1}, i_{L2}, V_{C1a}, V_{C1b}, V_{C2}, i_{C1a}, i_{C1b}, i_a, i_D, V_Q, V_D$$

$$V_{L1} = \begin{cases} V_{L1\text{on}} = V_g > 0 \\ V_{L1\text{off}} = V_g - V_{L1} - V_{C1a} = V_g - \frac{V_S}{n} - V_{C1a} = V_g - \frac{V_{C1b}}{n} - V_{C1a} = \end{cases}$$

$$= V_g - n \frac{D}{1-D} V_g - V_g = -n \frac{D}{1-D} V_g < 0$$

$$V_{L2} = \begin{cases} V_{L2\text{on}} = V_{C1b} - V_S - V_{C2} = V_{C1b} - n V_p - V_{C2} = \\ = n \frac{D}{1-D} V_g + n V_{C1a} - V_{C2} = n \frac{D}{1-D} \cdot V_g + n V_g - n \frac{D}{1-D} \cdot V_g = n V_g > 0 \\ V_{L2\text{off}} = -V_{C2} = -V_0 < 0 \end{cases}$$

$$i_{L1} = \begin{cases} i_{L1\text{on}} = i_{C1a} = i_p = -m i_o \\ i_{L1\text{off}} = i_g \end{cases}$$

$$V_{C1a} = \begin{cases} V_{C1a\text{on}} = -V_p = -\frac{V_S}{n} = -\frac{-V_{C2} - V_{L2} + V_{C1b}}{n} = -\frac{n \frac{D}{1-D} V_g - n V_g + n \frac{D}{1-D} V_g}{n} = \\ = \frac{n V_g}{n} = V_g > 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} V_{C1a\text{off}} &= V_{L1} - V_g - V_p = -V_g - \frac{V_S}{n} = -V_g - \frac{V_{C1b}}{n} = \\ &= -V_g - \frac{\cancel{n} \frac{D}{1-D} V_g}{\cancel{n}} = -V_g - \frac{D}{1-D} V_g < 0 \end{aligned}$$

$$V_{L1}, V_{L2}, i_{L1}, i_{L2}, V_{C1a}, V_{C1b}, V_{C2}, i_{C1a}, i_{C1b}, i_a, i_D, V_a, V_D$$

$$V_{L1} = \left\{ \begin{array}{l} V_{L1on} = V_g > 0 \\ \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} V_{L1off} &= V_g - V_{L1on} - V_{C1a} = V_g - \frac{V_s}{n} - V_{C1a} = V_g - \frac{V_{C1b}}{n} - V_{C1a} : \\ &= V_g - n \frac{D}{1-D} V_g - V_g = -n \frac{D}{1-D} V_g < 0 \end{aligned}$$

$$V_{L2} = \left\{ \begin{array}{l} V_{L2on} = V_{C1b} - V_s - V_{C2} = V_{C1b} - n V_p - V_{C2} = \\ = n \frac{D}{1-D} V_g + n V_{C1a} - V_{C2} = n \frac{D}{1-D} \cdot V_g + n V_g - n \frac{D}{1-D} \cdot V_g = n V_g \\ \bullet V_{L2off} = -V_{C2} = -V_0 < 0 \end{array} \right.$$

$$i_{L1} = \left\{ \begin{array}{l} i_{L1on} = i_{C1a} = i_p = -m i_o \\ \bullet i_{L1off} = i_g \end{array} \right.$$

$$V_{C1a} = \left\{ \begin{array}{l} V_{C1aon} = -V_p = -\frac{V_s}{n} = -\frac{-V_{C2} - V_{L2} + V_{C1b}}{n} = \\ = \frac{n \frac{D}{1-D} V_g - n V_g + n \frac{D}{1-D} V_g}{n} = \\ = \frac{n V_g}{n} = V_g > 0 \\ \bullet V_{C1aoff} = V_{L1} - V_g - V_p = -V_g - \frac{V_s}{n} = -V_g - \frac{V_{C1b}}{n} = \\ = -V_g - \frac{n \frac{D}{1-D} V_g}{n} = -V_g - \frac{D}{1-D} V_g < 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{C1deon} = V_{L2} + V_{C2} + V_S = n \frac{D}{1-D} V_g + n V_p + n V_g = \\ = n \frac{D}{1-D} V_g - n V_{C1da} + n V_g = n \frac{D}{1-D} V_g - n \cancel{V_g} + n V_g = \\ = n \frac{D}{1-D} V_g \\ \\ V_{C1deoff} = V_S = n V_p = n (-V_{C1da} - V_{L1} + V_g) = n (-V_g + n \frac{D}{1-D} V_g + V_g) = \\ = n^2 \frac{D}{1-D} V_g \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{C2on} = V_{L2} + V_{C1de} - V_S = -n V_g + n \frac{D}{1-D} V_g - n V_p = \\ = -n V_g + n \frac{D}{1-D} V_g + n V_{C1da} = \\ = -n \cancel{V_g} + n \frac{D}{1-D} V_g + n \cancel{V_g} = n \frac{D}{1-D} V_g \\ \\ V_{C2off} = -V_{L2} + V_o = M \cdot V_g = n \frac{D}{1-D} V_g \end{array} \right.$$

$$i_{L2} \left\{ \begin{array}{l} i_{L2on} = i_{C2} + i_0 = i_{C2} + \frac{V_L}{R} \\ i_{L2off} = i_{C2} + \frac{V_o}{R} \end{array} \right| \text{NU D NE COMUTAT}$$

$$\gamma_{C10} \begin{cases} \gamma_{C10\text{on}} = \gamma_p + \gamma_{LM} = -n \gamma_s + \gamma_{LM} = -n(\gamma_{L2}) + \gamma_{LM} = \\ -n\gamma_{L2} < 0 \\ \gamma_{C10\text{off}} = \gamma_{L1} > 0 \end{cases}$$

$$\gamma_{C1de} \begin{cases} \gamma_{C1de\text{on}} = -\gamma_{L2} < 0 \\ \gamma_{C1de\text{off}} = -is = -\left(-\frac{1}{n}ip\right) = \frac{\gamma_{L1} - \gamma_{LM}}{n} = \frac{\gamma_{L1}}{n} > 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_{g_{rms}} &= \sqrt{\frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} i_{QH1}^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T_S} \left[ \int_0^{T_S} i_{\alpha_{on}} H_1 dt + \int_{T_S}^{T_S} i_{\alpha_{off}} H_1 dt \right]} = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} (\gamma_{L1} - \gamma_{C1a})^2 dt + \int_{T_S}^{T_S} 0} = \sqrt{\frac{(\gamma_{L1} + \gamma_{L2})^2}{T_S} \int_0^{T_S} dt} = \\
 &= \sqrt{\frac{(\gamma_{L1} + \gamma_{L2})^2}{T_S} DT_S} = (\gamma_{L1} + \gamma_{L2}) \sqrt{D} = \left( n^2 \frac{D^2}{(n-1)^2} \frac{V_g}{R} + n \frac{D}{(n-1)} \frac{V_g}{R} \right) \sqrt{D} \\
 &= n \frac{D}{(n-1)} \frac{V_g}{R} \left( n \frac{D}{(n-1)} \frac{V_g}{R} + 1 \right) \sqrt{D} = M \frac{V_g}{R} \left( M \frac{V_g}{R} + 1 \right) \sqrt{D} \\
 \\ 
 &= \frac{V_o}{V_g} \frac{V_g}{R} \left( \frac{V_o}{V_g} \frac{V_g}{R} + 1 \right) \sqrt{D} = \frac{V_o}{R} \left( \frac{V_o}{R} + 1 \right) \sqrt{D} = \\
 &= \frac{V_o}{R} \left( \frac{V_o + R}{R} \right) \sqrt{D} = \frac{V_o^2 + RV_o}{R^2 V_g} \sqrt{D}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_{g_{rms}} &= \left( \frac{P_o}{V_g} + \frac{P_o}{V_o} \right) \sqrt{D} = P_o \left( \frac{1}{V_g} + \frac{1}{V_o} \right) \sqrt{D} \\
 \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{L1} = M \cdot \gamma_o = M \frac{P_o}{V_o} = \frac{V_o}{V_g} \frac{P_o}{V_o} = \frac{P_o}{V_g} \\ \gamma_{L2} = \gamma_o = \frac{P_o}{V_o} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

$$\gamma_{Dmax} = \sqrt{\frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} i_D(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T_S} [ \int_0^{T_S} i_D(t) dt + \int_{T_S}^{T_S} i_D(t) dt ]}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} 0 + \int_{T_S}^{T_S} (\frac{\gamma_{L1}}{n} + \gamma_{L2})^2 dt} = \sqrt{\frac{(\frac{\gamma_{L1}}{n} + \gamma_{L2})^2}{T_S} \int_{T_S}^{T_S} (t) dt} =$$

$$\sqrt{\frac{(\frac{\gamma_{L1}}{n} + \gamma_{L2})^2}{T_S} \int_{T_S}^{T_S} (t) dt} = \sqrt{\frac{\gamma_{L1} + \gamma_{L2}}{T_S} (1-1) T_S} = (\frac{\gamma_{L1}}{n} + \gamma_{L2}) \sqrt{1-1} =$$

$$\left( \frac{n \cdot \frac{D^2}{(1-D)^2} \cdot \frac{Vg}{R}}{1} + n \cdot \frac{D}{1-D} \frac{Vg}{R} \right) \sqrt{1-1} = n \cdot \frac{D}{1-D} \frac{Vg}{R} \left( \frac{D}{1-D} \cdot \frac{Vg}{R} \cdot n \right) \sqrt{1-1}$$

$$= 1 \cdot M \cdot \frac{Vg}{R} \left( \frac{D}{1-D} \frac{Vg}{R} + 1 \right) \sqrt{1-1} = \frac{Vg}{Vg} \frac{Vg}{R} \left( \frac{D}{1-D} \frac{Vg}{R} + 1 \right) \sqrt{1-1} =$$

$$= \frac{Vg}{R} \left( \frac{D}{1-D} \frac{Vg}{R} + 1 \right) \sqrt{1-1} = \frac{Vg}{R} \frac{D Vg + (1-D) R}{(1-D) R} \sqrt{1-1} =$$

$$= \frac{Vg [ D Vg + (1-D) R ]}{(1-D) R^2} \sqrt{1-1}$$

$$\gamma_{Dmax} = \left( \frac{P_0}{Vg} + \frac{P_0}{V_0} \right) \sqrt{1-1} = \left( \frac{P_0}{n Vg} + \frac{P_0}{V_0} \right) \sqrt{1-1} = P_0 \left( \frac{1}{n Vg} + \frac{1}{V_0} \right) \sqrt{1-1}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{V_s}{m}$$

$$i_Q = \begin{cases} i_{Q\text{on}} = i_{L1} - i_{C1a} \\ i_{Q\text{off}} = 0 \end{cases}$$

$$V_Q = \begin{cases} V_{Q\text{on}} = 0 \\ V_{Q\text{off}} = V_{L1} + V_g \end{cases}$$

$$i_D = \begin{cases} i_{D\text{on}} = 0 \\ i_{D\text{off}} = i_{C1b} + i_{L2} \end{cases}$$

$$V_D = \begin{cases} V_{D\text{on}} = V_{C1b} - V_S \\ V_{D\text{off}} = 0 \end{cases}$$

$$D = 0.588$$

$$\frac{1-2 \cdot D}{1-D} = \frac{1-1.176}{0.412}$$

$$\begin{aligned} &= V_{C1a} + V_p = V_{C1a} + \frac{V_S}{m} = V_{C1a} + \frac{V_S}{m} \cdot \frac{k_{1b}}{m} \\ &= V_B + \frac{D}{1-D} \cdot V_S \\ &= \left(1 + \frac{D}{1-D}\right) V_S \\ &= \frac{1+0.588}{1-0.588} \cdot V_S \\ &= \frac{1}{0.412} \cdot V_S \\ &\approx 34V. \end{aligned}$$

$$i_{L1} = i_{C1a} + i_g$$

$$\Delta \gamma_L = \frac{|V_{L\text{on}}|}{L} DT_S = \frac{D |V_{L\text{on}}|}{L f_S}$$

$$\Delta \gamma_L = \frac{|V_{L\text{off}}|}{L} (1-D) T_S = \frac{(1-D) |V_{L\text{off}}|}{L f_S}$$

$$\Delta V_C = \frac{|V_{C\text{on}}|}{C} DT_S = \frac{D |\gamma_{C\text{on}}|}{C f_S}$$

$$\Delta V_C = \frac{|\gamma_{C\text{on}}|}{C} (1-D) T_S = \frac{(1-D) |\gamma_{C\text{off}}|}{C f_S}$$

$$\Delta \gamma_{L_T} = \frac{D |V_{L\text{on}}|}{L f_S} = \frac{D V_{gy}}{L f_S} \quad \checkmark$$

$$\Delta \gamma_{L_T} = \frac{(1-D) |V_{L\text{off}}|}{L f_S} = \frac{(1-D) n \frac{D}{1-D} V_{gy}}{L f_S} = \frac{n D V_{gy}}{L f_S} \times !!!$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{C_{\text{max}}} &= \frac{D |V_{C\text{on}}|}{C f_S} = \frac{D n^2 L_2}{C f_S} = \frac{D n \cdot n \frac{D}{1-D} \frac{V_{gy}}{R}}{C f_S} = \frac{n^2 \frac{D^2}{1-D} \frac{V_{gy}}{R}}{C f_S} = \\ &= \frac{n^2 D^2 V_{gy}}{(1-D) R L f_S} \Rightarrow C_{\text{fa}} \geq 10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{C_{\text{min}}} &= \frac{1-D |\gamma_{C\text{off}}|}{C f_S} = \frac{(1-D)^2 L_1}{C f_S} = \frac{(1-D)^2 \frac{D^2}{(1-D)} \frac{V_{gy}}{R}}{C f_S} = \\ &= \frac{n^2 D^2 V_{gy}}{(1-D) R C f_S} \end{aligned}$$

$$\Delta V_{C1de} = \frac{D(\gamma_{com})}{Ch} = \frac{D\gamma_{L2}}{Ch} = \frac{D n \frac{D}{(1-D)} \frac{Vg}{R}}{Ch} = \frac{n D^2 Vg}{(1-D) R Ch}$$

$$\begin{aligned}\Delta V_{C1de} &= \frac{(1-D) (\gamma_{cutoff})}{Ch} = \frac{(1-D) \frac{\gamma_{L1}}{n}}{Ch} = \frac{(1-D) \gamma_{L1}}{Ch n} = \\ &= \frac{(1-D) n \frac{D^2}{(1-D)^2} \frac{Vg}{R}}{Ch n} = \frac{n \frac{D^2}{(1-D)} \frac{Vg}{R}}{Ch} = \frac{n D^2 Vg}{(1-D) R Ch}.\end{aligned}$$

$$\Delta V_{C1A} = \frac{n^2 D^2}{1-D} \frac{V_g}{R}$$

$$\Delta V_{C1A} = \frac{n^2 \frac{D^2}{1-D} \frac{V_g}{R}}{c_{1a} \cdot f_s}$$

$$\frac{1}{10} V_{g\max} = \frac{n^2 \cdot \frac{D^2}{1-D} \cdot \frac{V_g}{R}}{c_{1a} \cdot f_s} \Rightarrow$$

$$c_{1a} \cdot f_s = \frac{n^2 \frac{D^2}{1-D} \cdot \frac{V_g}{R}}{\frac{1}{10} V_{g\max}} \Rightarrow$$

$$c_{1a} = \frac{n^2 \frac{D^2}{1-D} \frac{V_{g\max}}{R}}{\frac{V_{g\max} \cdot f_s}{10}} = \underbrace{0,0625 \cdot \frac{0,3457}{0,412} \cdot \frac{24}{10}}_{\cancel{24} \cdot 80 \cdot 10^3} =$$

$$= 0,000654 \cdot 10^{-3} = 0,65 F$$

$$= 654 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} F = 654 \cdot 10^3 F = 654 nF.$$

$$\Delta V_{C1B} = \frac{nD^2 Vg}{(1-D) R(f)} \Rightarrow \Delta \gamma_L \leq \frac{1}{4} \cdot \gamma_L$$

$$\frac{1}{\gamma_0} V_{C1B} = \frac{nD^2 Vg}{(1-D) R(f)} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{\gamma_0} n \frac{D}{1-D} Vg = \frac{nD^2 Vg}{(1-D) R(f)} \Rightarrow$$

~~$$(1-D) R(f) = \frac{nD^2 Vg}{\frac{1}{\gamma_0} n \frac{D}{1-D} Vg} \Rightarrow$$~~

~~$$(1-D) R(f) = \frac{nD}{\frac{1}{\gamma_0} 1-D} \Rightarrow$$~~

~~$$(1-D) R(f) = \frac{D}{\frac{1}{\gamma_0} 1-D} \Rightarrow$$~~

~~$$(1-D) R(f) = \frac{10D}{\frac{1}{\gamma_0} 1-D} \Rightarrow$$~~

$$C = \frac{\gamma_0 D}{(1-D)^2 R(f)} = \frac{5,8}{0,169 \cdot 10 \cdot 80 \cdot 10^3} =$$

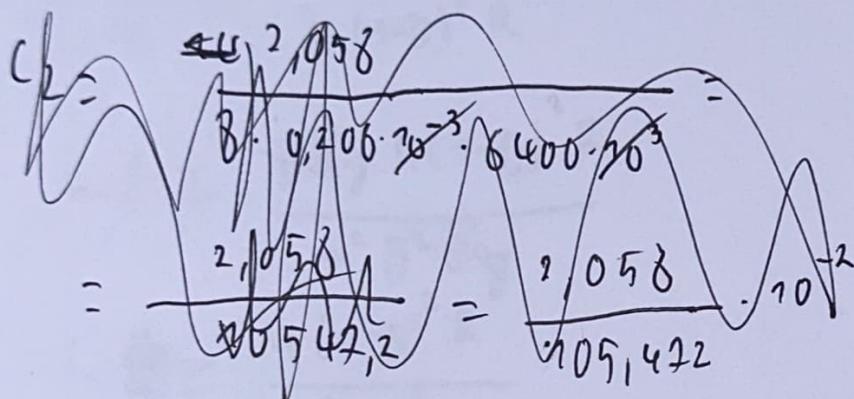
$$= \frac{5,8}{0,169 \cdot 8} \cdot 10^{-5} = 34,379 \cdot 10^{-5} = 0,343 \text{ mF}$$

$$\Delta V_{C2} = \frac{mDV_S}{8 C_2 L_2 f_S^2}$$

$$0,05V = \frac{mDV_S}{8 C_2 L_2 f_S^2} =$$

$$8 C_2 L_2 f_S^2 = \frac{mDV_S}{0,05V}$$

$$C_2 = \frac{mDV_S}{8 L_2 f_S^2} = \Rightarrow$$



$$C_2 = \frac{0,25 \cdot 0,588 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 0,206 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 80 \cdot 10^3} = \frac{0,25 \cdot 0,588 \cdot 7}{4 \cdot 0,206 \cdot 80 \cdot 80} \rightarrow 10^{-2}$$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{1,029}{52,736} \cdot 10^{-2} = 0,019 \cdot 10^{-2} = 19 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} F = 19 \cdot 10^{-5} F = 190 \cdot 10^{-6} F = 190 \mu F.$$

$$\Delta \gamma_{L1} \leq \frac{1}{4} \gamma_{L1}$$

$$\frac{D \cdot Vg}{L \cdot b} \leq \frac{1}{4} \gamma_{L1}$$

$$\frac{D \cdot Vg}{L \cdot b} \leq \frac{1}{4} n^2 \frac{D^2}{(1-D)^2} \frac{Vg}{R}$$

$$\frac{D \cdot Vg}{L \cdot b} \leq \frac{n^2 D^2 Vg}{4(1-D)^2 R}$$

$$L \cdot b \geq \frac{D Vg 4(1-D)^2 R}{n^2 D^2 Vg}$$

$$L \cdot b \geq \frac{4(1-D)^2 R}{n^2 D \cdot b}$$

$$L \geq \frac{4,0169 \cdot 10}{0,0625 \cdot 0,588 \cdot 80 \cdot 10^3} = )$$

$$L \geq \frac{6,176}{2,88 \cdot 80} \cdot 10^{-3}$$

$$L \geq 2,347 \text{ mH}$$

$$\frac{\frac{nD V_{gy}}{L_2 \cdot f_s}}{C_2 \cdot f_s} = \frac{(1-\eta)}{1-\eta} \frac{\frac{nD V_{gy}}{L_2 \cdot f_s}}{L_2 \cdot f_s} = \frac{nD V_{gy}}{L_2 \cdot f_s} \Rightarrow$$

$$L_2 = n \frac{D}{1-\eta} \frac{V_{gy}}{R}$$

$$\Delta \gamma_{L_2} \leq \frac{1}{4} \gamma_{L_2}$$

$$\frac{nD V_{gy}}{L_2 \cdot f_s} \leq \frac{1}{4} n \frac{D}{1-\eta} \frac{V_{gy}}{R}$$

Aufgabe

$$\frac{nD V_{gy}}{L_2 f_s} \leq \frac{nD V_{gy}}{4(1-\eta) R}$$

$$L_2 f_s \geq \frac{\cancel{nD V_{gy}} 4(1-\eta) R}{\cancel{nD V_{gy}}}$$

$$L_2 \geq \frac{4(1-\eta) R}{f_s}$$

$$L_2 \geq \frac{16,48}{80} \cdot 10^{-3}$$

$$L_2 \geq 0,206 \text{ mH}$$

$$V_{C2} = n \frac{D}{1-D} V_{gy}$$

$$V_0 = n \frac{D}{1-D} V_{gy} \Rightarrow n = \frac{V_0}{\frac{D}{1-D} V_{gy}}$$

Eaz 1 eaz minimum Tensione minima intrare, Duty 0,6

$$V_0 = 9V$$

$$V_{imin} = 9V$$

$$n = \frac{V_0}{\frac{D}{1-D} V_{gy}} = \frac{5}{\frac{0,6}{0,4} \cdot 9} = \frac{5}{13,5} = 0,37$$

Eaz 2 eaz max Tensione max. intrare, Duty 0,6

$$V_0 = 9V$$

$$V_{imax} = 14V$$

$$n = \frac{V_0}{\frac{D}{1-D} V_{gy}} = \frac{5}{\frac{0,6}{0,4} \cdot 14} = \frac{5}{27} = 0,1852$$

Alegem urmator  $n = 0,25 (\frac{1}{4})$

Eaz Vimax

$$0,25 = \frac{5}{\frac{D}{1-D} \cdot 14} \Rightarrow \frac{D}{1-D} \cdot 14 = \frac{5}{0,25} \Rightarrow \frac{D}{1-D} \cdot 14 = 20 \Rightarrow \frac{D}{1-D} = 1,428 \Rightarrow D = 1,428 - 1$$

$$D = (1 - 1) 1,428$$

$$D = 1,428 - 1,428$$

$$1,428 + 1,428 D = 1,428$$

$$2,856 D = 1,428 \Rightarrow D = 0,588$$

$$V_{C2} = n \frac{D}{1-D} V_{gy}$$

Calcul n

$$V_0 = n \frac{D}{1-D} V_{gy} \Rightarrow n = \frac{V_0}{\frac{D}{1-D} V_{gy}}$$

Eaz 1 eaz minimum Tensione minima intrare, Duty 0,6

$$V_0 = 5V$$

$$V_{min} = 9V$$

$$n = \frac{V_0}{\frac{D}{1-D} V_{gy}} = \frac{5}{\frac{0,6}{0,4} \cdot 9} = \frac{5}{13,5} = 0,37 \checkmark$$

Eaz 2 eaz max Tensione max. intrare, Duty 0,6

$$V_0 = 5V$$

$$V_{max} = 14V$$

$$n = \frac{V_0}{\frac{D}{1-D} V_{gy}} = \frac{5}{\frac{0,6}{0,4} \cdot 14} = \frac{5}{21} = 0,2380 \checkmark$$

Alegem arbitrar  $n = 0,25 (\frac{1}{4})$

Eaz Vmax

$$0,25 = \frac{5}{\frac{D}{1-D} \cdot 14} \Rightarrow \frac{D}{1-D} \cdot 14 = \frac{5}{0,25} \Rightarrow \frac{D}{1-D} \cdot 14 = 20 \Rightarrow \frac{D}{1-D} = 1,428 \Rightarrow$$

$$D = (1 - D) 1,428$$

$$D = 1,428 - D 1,428$$

$$D + 1,428 D = 1,428$$

$$2,428 D = 1,428 \Rightarrow D = 0,588$$

Eaz Vimin

$$0,25 = \frac{7}{D \cdot 9} \Rightarrow \frac{D}{7-10} \cdot 9 = 20 \Rightarrow \frac{D}{7-1} = 2,222$$

~~$$\frac{D}{7-D} = 2,222 \Rightarrow (1-D)2,222 = D$$~~

$$2,222 - 2,222D = D$$

$$2,222 = 3,222D$$

$$\boxed{D = 0,68}$$

$$V_{R1} = \frac{7}{7+3} = \frac{7}{10} = 0,7V$$

$$V_{R2} = \frac{3}{7+3} = \frac{3}{10} = 0,3V$$

$$\boxed{+0,7V \text{ auf } +0,3V \text{ auf die Welle}}$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{0,15 \cdot 10^{-6} C}{0,7V} = 2,14 \cdot 10^{-7} F = 214 pF$$

$$\delta u_R (0-t) = 0$$

$$\delta u_R (t) = 0$$

$$\delta u_R = \cos(\omega_c t + \phi)$$

$$0,870 = (1 - \cos \omega_c t - \phi)$$