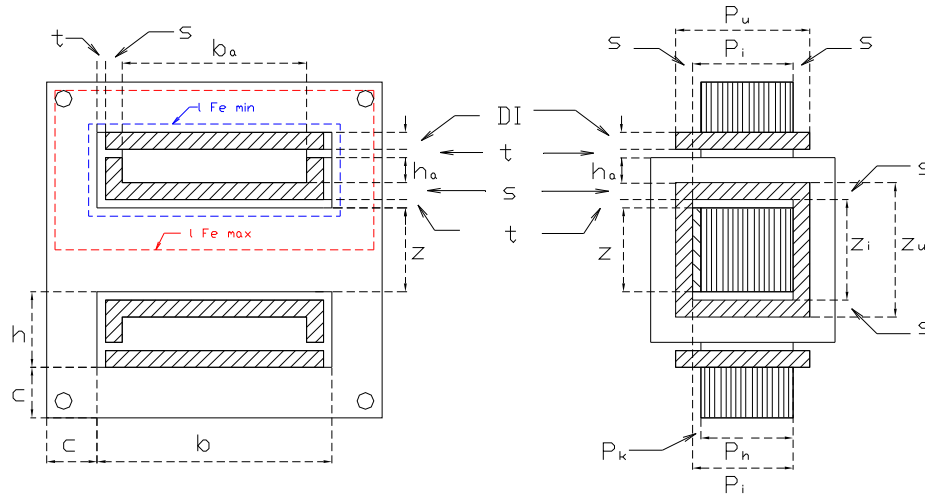


Drahtberechnung

- 1. Wickelgüterbauteile**
- 2. Eisenkern**
- 3. Spulenkörper**
- 4. Kupferwickel**
- 5. Platzbedarf des Wickeldrahtes**
- 6. Parallelschaltung von Drähten**
- 7. Lackzuschlag bei Cu-Drähten**
- 8. Kupferrunddraht**
- 9. Berechnung von Q_{Cu}**
- 10. Berechnungsfolge**
- 11. Isolierfolie**
- 12. Isolierschläuche**

1. Wickelgüterbauteile



2. Eisenkern

Wenn der Eisenweg verschieden breit ist, so wird die Eisenweglänge aus dem größten und dem kleinsten Eisenweg berechnet.

$$l_{Fe} = \frac{l_{Fe \max} + l_{Fe \min}}{2}$$

Wenn der Eisenweg überall gleich ist, ist die Fläche $F_{Fe} = c \cdot l_{Fe}$;

Wenn die Zungenbreite $z = 2c$ ist, so ist $F_{Fe} = 2 \cdot c \cdot l_{Fe}$; $V_{Fe} = 0,94 F_{Fe} \cdot p_h$

l_{Fe}	[cm]	-	Eisenweglänge
F_{fe}	[cm ²]	-	Eisenblechfläche
c	[cm]	-	Eisenwegbreite
z	[cm]	-	Zungenbreite
V_{Fe}	[cm ³]	-	Eisenvolumen
p_h	[cm]	-	Packethöhe
0,94		-	Schichtfaktor

der Eisenquerschnitt ist $q_{Fe} = \frac{V_{Fe}}{l_{Fe}}$; das Eisengewicht ist $G_{Fe} = V_{Fe} \cdot \gamma_{Fe}$

q_{Fe}	[cm ²]	-	Eisenquerschnitt
G_{Fe}	[g]	-	Eisengewicht
γ_{Fe}	[7,65]	-	spezifisches Gewicht des Dynamoblechs

3. Spulenkörper

die Spulenkörperinnenhöhe ist
wenn die Spulenkörperinnenbreite nicht bekannt
die Spulenkörperaußenhöhe ist

$$\begin{aligned} p_i &= p_h + p_k ; \\ z_i &= z + 2t ; \\ p_u &= p_i + 2s ; \end{aligned}$$

p_i	[cm]	-	Spulenkörperinnenhöhe
z_i	[cm]	-	Spulenkörperinnenbreite
p_u	[cm]	-	Spulenkörperaußenhöhe
p_k	[cm]	-	Keilstärke
s	[cm]	-	Spulenkörperstärke
t	[cm]	-	Toleranzabstand

die Spulenkörperaußenbreite ist
wobei die Deckisolation DI die Stärke 0,05 cm hat.
wenn die Wickelraumbreite nicht bekannt ist, gilt

$$\begin{aligned} z_u &= z_i + 2s ; \\ b_a &= b - 2s - 2t ; \end{aligned}$$

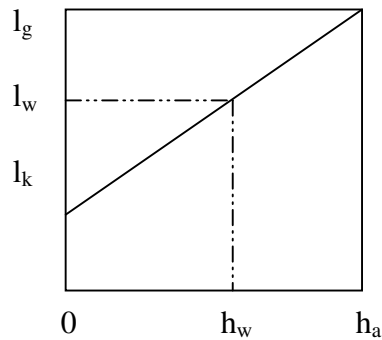
z_u	[cm]	-	Spulenkörperaußenbreite
l_k	[cm]	-	kleinste Windungslänge
h_a	[cm]	-	Wickelraumhöhe
h	[cm]	-	Eisenfensterhöhe
DI	[cm]	-	Deckisulationsstärke
b_a	[cm]	-	Wickelraumbreite
b	[cm]	-	Eisenfensterbreite

4. Kupferwickel

die kleinste Windungslänge ist $l_k = 2 p_u + 2 z_u ;$
die mittlere Windungslänge ist $l_m = l_k + \Pi h_a ;$

l_m [cm] - mittlere Windungslänge

die größte Windungslänge ist $l_g = l_k + 2 \Pi h_a ;$



l_{mp} - mittlere Windungslänge der Primärwicklung
 l_{ms} - mittlere Windungslänge der Sekundärwicklung
 h_a - Spulenkörperhöhe
 h_w - Höhe einer Windung im Spulenkörper
 l_w - Länge dieser Windung
 l_k, l_m, l_g kleinste, mittlere und größte Windungslänge

Durch den Zug der Maschine am Draht wird bei der Rechteckwicklung die Drahtlänge $2 \pi h_w$ an den Rundungen um den Faktor f_R kleiner.

$$f_R \approx \frac{d_{cu}}{d_{cul}} ; l_w = l_k + f_R \cdot 2 \pi h_w ;$$

gilt nur zur Berechnung des Drahtwiderstandes und des Kupfergewichts bei Runddrähten.

5. Platzbedarf des Wickeldrahtes

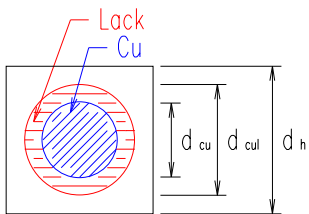
Breitenausdehnung d_b (d.h. bei Runddraht) (mm)

Beim Wickeln entsteht zwischen den nebeneinander liegenden Windungen ein geringer Abstand, welcher beim Platzbedarf des Wickeldrahtes mit folgender Formel berücksichtigt wird.

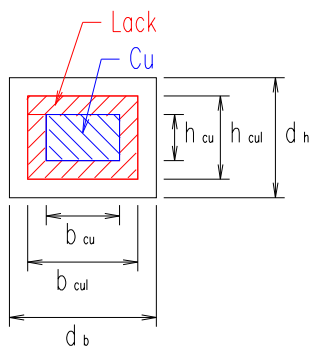
Höhenausdehnung d_h (mm)

Beim Wickeln der Lagen übereinander entsteht durch die Balligkeit der Wicklung ein geringer Abstand zwischen den Lagen, welcher beim Platzbedarf mit folgender Formel berücksichtigt wird:

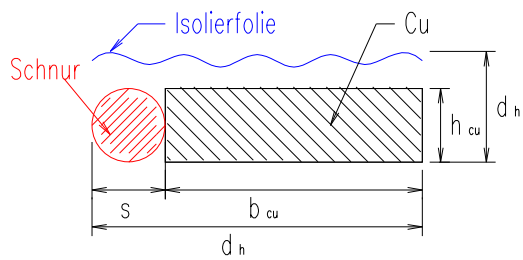
Lackrunddraht



Lackflachdraht



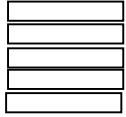
Cu - Band



6. Parallelschaltung von Drähten

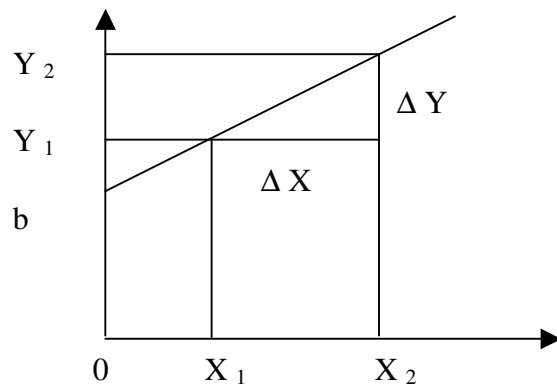


Runddrähte kann man parallelschalten, indem man 2 Drähte nebeneinander wickelt.



Flachdrähte und Cu-Bänder dürfen bis zu 6 Stück übereinander gewickelt werden, wenn $\sum h_{cu} < b_{cu}$ ist.

7. Lackzuschlag bei Cu-Drähten



7. Kupferrunddraht

Nenn Durchmesser [mm]	Durchschlagsspannung des Lacks 140 V / 50 Hz		
	Einfach - Lack Cu L	Doppel - Lack Cu LL	
bis 0,02	150	200	
0,02 bis 0,025		250	
0,025 bis 0,03			
0,03 bis 0,04	200	350	
0,04 bis 0,05			
0,05 bis 0,063	250	400	
0,063 bis 0,071			
0,071 bis 0,08	300	500	
0,08 bis 0,09			
0,09 bis 0,1	350	650	
0,1 bis 0,125			
0,125 bis 0,16	400	750	
0,16 bis 0,2	450	850	
0,2 bis 0,25	500	950	
0,25 bis 0,315	550	1050	
0,315 bis 0,4	650	1150	
0,4 bis 0,5	750	1300	
0,5 bis 0,71	850	1500	
0,71 bis 0,85	950	1650	
0,85 bis 0,95	1000	1750	
0,95 bis 1,12	1000	1850	
1,12 bis 1,32	1100	1900	
1,32 bis 1,6	1100	2000	
1,6 bis 1,9	1150	2050	
1,9 bis 2,5	1200	2150	
2,5 bis 3,0	1250	2250	
Nenn Durchmesser [mm]	Fehlerzahl im Lack auf 30 m Länge gemessen mit 100 V		
	Einfach - Lack Cu L	Doppel - Lack Cu LL	Cu
< 0,04	30	12	
0,04 bis 0,5	15	6	

lt. Herrn Lehner von den Leonischen Drahtwerken Mindest - und Normalabstand von Fehler zu Fehler:

L => Min = 25 cm ; Norm = 5 m ;

LL => Min = 5 m ; Norm = 15 m ;

8. Berechnung von Q_{cu}

Windungszahl W

berechnen wir für 220 V ; $\hat{B} = 1,6 T$; $w_p = w_s$;

$$W_p = \frac{U \cdot \sqrt{2} \cdot 10^4}{\omega \cdot \hat{B} \cdot q_{Fe}} = \frac{220 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^4}{314 \cdot 1,6 \cdot q_{Fe}} = \frac{6190}{q_{Fe}} ;$$

$$W = 2 \cdot W_p = \frac{2 \cdot 6190}{q_{Fe}} = \frac{12380}{q_{Fe}} ;$$

Wickelraumquerschnitt Q_R

Der Wickelraumquerschnitt wird aus der Wickelraumbreite b_a und der Wickelraumhöhe h_a berechnet. $Q_R = b_a h_a$;

Platzquadrat q_R

erhält man aus dem Wickelraumquerschnitt Q_R geteilt durch die Windungszahl W .

$$q_R = \frac{100 Q_R}{W} = \frac{10 b_a \cdot h}{W} ;$$

Platzquadratbreite d_b

bei Runddraht ist $d_b = d_h$, und

Platzquadrathöhe d_h

wird aus der Drahttabelle zugehörig zum Platzquadrat ($q \leq$) gewählt.

U	[V]	-	Spannung an der Primärwicklung
\hat{B}	[T]	-	Induktion
W, W_p		-	Windungszahl
Q_R	[mm ²]	-	Wickelraumquerschnitt
q_R	[mm ²]	-	errechneter Platzquadratquerschnitt
$q \leq$	[mm ²]	-	Platzquadratquerschnitt aus der Drahttabelle

Isolierfolie I_{f20}

Um den Wickeldraht gegen Spannungsüberschläge zu schützen werden Isolierfolien eingewickelt. Jedem Drahtdurchmesser d_{cu} ist eine Isolierfolie zugeordnet. I_f gibt die Isolierfoliendicke an, I_{f20} beinhaltet einen 20% Zuschlag zur Dicke für die Welligkeit der Isolierfolie beim Wickeln.

$$I_{f20} = I_f + 20\%;$$

Grundisolation G_I

Bei geschachtelten Spulenkörpern wird eine Grundisolation GI bestehend aus 3 Lagen Isolierfolie gewickelt, die einen Spannungsdurchschlag von der Kupferwicklung zum Eisenkern verhindern soll.

$$GI = 3 I_{f20} ;$$

d_h	[mm]	-	Platzquadrathöhe
d_{cu}	[mm]	-	Drahtdurchmesser
q_{cu}	[mm ²]	-	Drahtquerschnitt
I_f	[mm]	-	Isolierfoliendicke
I_{f20}	[mm]	-	Isolierfoliendicke mit 20 % Welligkeitszuschlag
G_I, W_I	[mm]	-	Grund- u. Wickelisolationsdicke

Wickelisolations W_I

Die Kupferwicklungen werden voneinander durch die Wickelisolations, welche aus 3 Lagenisolierfolie besteht, getrennt.

$$W_I = 3 I_{f20}$$

Deckisolation D_I

Die oberste Lage Draht wird vom Eisenkern, durch eine an den Eisenkern geklebte 0,5 mm starke Isolierplatte, der Deckisolation DI isoliert. Da die Deckisolation außerhalb des Spulenkörpers liegt, geht sie in die Wickelraumrechnung nicht ein.

Lagenisolation L_I

Innerhalb der Drahtwicklung wickelt man, wenn nötig, nach jeder Lage Draht eine Lage Isolierfolie, die einen Spannungsüberschlag zur nächsten Lage Draht verhindern soll. Bis 20 V ~ Spannungsunterschied entlang des Lackdrahtes ist keine Isolierfolie nötig. Ob Isolierfolien nötig sind, errechnet man mit der Formel:

$$\frac{L_{If}}{L_z} = \frac{20 V}{U} ; L_{If} = L_z \cdot \frac{20 V}{U} ;$$

wobei U die Spannung an der Wicklung ist, und L_{If} angibt, nach wieviel Drahtlagen eine Lage Isolierfolie eingewickelt werden muß.

13. Berechnungsfolge**Windungszahl W**

erhält man aus dem Eisenquerschnitt q_{Fe} ; $W = \frac{12380}{q_{Fe}}$;

L_{If} - Anzahl der Drahtlagen auf 1 Isolierfolie

L_z - Lagenzahl

Windungen je Lage W / L

erhält man aus b_a und der Platzquadratbreite d_b (bei Runddraht d_h) . Mit - 1 wird der Übergang des gewickelten Drahtes von einer Lage in die nächste Lage berücksichtigt.

$$\frac{W}{L} = \frac{10 b_a}{d_b} - 1 ;$$

Lagenzahl L_z

erhält man aus der Windungszahl W und W / L ; $L_z = \frac{W}{W / L}$;

Drahtlagenhöhe h_L

erhält man aus L_z und d_h . Mit + 1 für die Balligkeit der untersten Lage.

$$h_L = (L_z + 1) d_h ;$$

Isolierfolienhöhe h_I

erhält man mit L_z und I_{f20} mit -1 für die oberste isolierfreie Drahtlage.

$$h_I = (L_z - 1) I_{f20} ;$$

Wickelhöhe h_a^*

besteht aus h_L , h_I , Grundisolation $3 I_{f20}$ und Wickelisolierung $3 I_{f20}$.

$$h_a^* = 0,1 (h_L + h_I + 3 I_{f20} + 3 I_{f20}) = 0,1 (h_L + h_{I20} + 6 I_{f20}) \leq h_a$$

Kupferquerschnitt Q_{cu}

erhält man durch die Windungszahl W , und q_{cu} aus der Drahttabelle ; $Q_{cu} = \frac{W \cdot q_{cu}}{100}$

d_b, d_h	[mm] -	Platzquadratbreite, Platzquadrathöhe
h_L	[mm] -	Drahtlagenhöhe
h_I	[mm] -	Isolierfolienhöhe
h_a^*	[cm] -	Wickelhöhe
Q_{cu}	[cm ²] -	Kupferquerschnitt der Wicklung

Kupfergewicht G_{cu} (g)

errechnet man aus dem Kupferquerschnitt Q_{cu} (cm²) der mittleren Windungslänge l_m (cm) und dem spezifischen Gewicht des Kupfers γ_{cu} .

$$G_{cu} = Q_{cu} \cdot l_m \cdot \gamma_{cu} ; \quad \gamma_{cu} = 8,9 \cdot \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Widerstand R_{20} [Ω] der Wicklung bei 20 °C

errechnet man aus der Windungszahl W , der mittleren Windungslänge l_m [cm], dem Drahtquerschnitt q_{cu} [mm^2] und dem spezifischen ohmschen Widerstand des Drahtes δ_{20} bei 20 ° C.

$$\text{Berechnung mit } \delta_{20} = \frac{1}{58} \left(\frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \right) ;$$

$$\text{z.B. } W = 1 ; l_m = 1 m ; q_{cu} = 1 \text{ mm}^2 ;$$

$$R_{20} = \frac{W \cdot l_{cu} \cdot \delta_{20}}{q_{cu}} = \frac{1 \cdot 1 (m) \cdot \frac{1}{58} \left(\frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \right)}{1 (\text{mm}^2)} = \frac{1}{58} \Omega ;$$

$$\text{Berechnung mit } \delta_{20} = \frac{1}{58} \left(\frac{\Omega \text{ mm}^2}{cm} \right) ;$$

$$\text{z.B. } W = 1 ; l_m = 100 \text{ cm} ; q_{cu} = 1 \text{ mm}^2 ;$$

$$R_{20} = \frac{W \cdot l_{cu} \cdot \delta_{20}}{q_{cu}} = \frac{1 \cdot 100 (cm) \cdot \frac{1}{58} \left(\frac{\Omega \text{ mm}^2}{cm} \right)}{100 \cdot 1 (\text{mm}^2)} = \frac{1}{58} \Omega ;$$

$$\text{Berechnung mit } \delta_{20} = 1,724 \cdot 10^{-6} (\Omega \cdot cm) ;$$

$$\text{z.B. } W = 1 ; l_m = 100 \text{ cm} ; q_{cu} = 1 \text{ mm}^2 ;$$

$$R_{20} = \frac{100 W \cdot l_{cu} \cdot \delta_{20}}{q_{cu}} = \frac{100 \cdot 1 \cdot 100 (cm) \cdot 1,724 \cdot 10^{-6}}{1} = \frac{1}{58} \Omega ;$$

Prüfspannung U_f (kV)

Mit der Prüfspannung U_f wird die Isolation " Wicklung gegen Eisenkern " und " Wicklung gegen Wicklung " geprüft.

14. Isolierfolie

Triafol (Fa: Bayer, Leverkusen)

Celluloseacetobutyrat

Temperatur obere Grenztemperatur 120 ° C

Spannungsfestigkeit

Dicke / mm	0,025	0,04	0,06	0,1	0,2
U _p / kV mind	1,5	2,5	4	6	10

Lackglasgewebe (Fa: Dielektra)

Silikon lackiert

Temperatur obere Grenztemperatur 180 ° C

Spannungsfestigkeit

≥ 35 kV / mm

15. Isolierschläuche

PTFE - Isolierschläuche (Huth, Bietigheim)

nicht brennbar "Teflon "

Temperatur - 40 ° C + 250 ° C

Spannungsfestigkeit

Dicke / mm	0,2	0,25	0,32	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
U _{eff} / kV (50 Hz)	≥ 8	≥ 10	≥ 11	≥ 12	≥ 15	≥ 16	≥ 17	≥ 18	≥ 20