

Tentti 13.12.2010, kello 13 ... 16, sali S3 + RATKAISUT

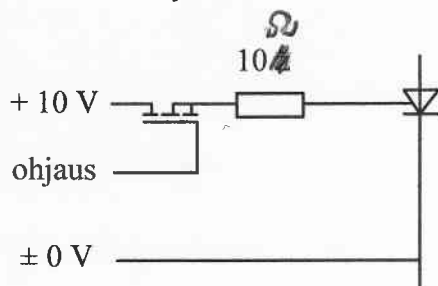
## Papereihin

- sukunimi ja etunimet
- opiskelijanumero
- koulutusohjelma.

## Tentissä sallitut apuvälineet

- kynät, kumit jne.
- taskulaskin
- lukion kaavakokoelma tms. + Laplace taulut

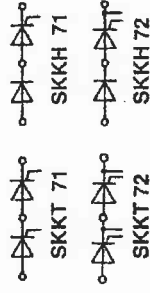
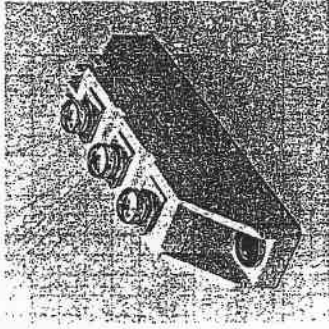
1. Selvitä lyhyesti (max. 2...4 lausetta + mahdollinen kuva), mitä seuraavilla termeillä tarkoitetaan
  - diffuusiomenetelmä
  - muutoslämpövastus
  - PT rakenne
  - varistori
  - kaksoiskerroskondensaattori.
2. Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
3. Esittele kirjassa esitetyt puolijohdetehokomponenttien jäähdytysmenetelmät ja -laitteet sekä niiden keskinäiset edut ja haitat.
4. Tyristorin SKKT 71 hilapulssi vahvistetaan kuvan mukaisella piirillä. MOSFET-transistorin sisäinen vastus  $R_{DS}$  on  $1\Omega$ . Onko tyristorin syttyminen varmaa  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa? Mikä on suurin mahdollinen tyristorin hilahäviöteho, jonka kytkentä voi saada aikaan?



5. Erään pienitehoisen laitteen hakkuriteholähteen  $47\ \mu\text{H}$  suotokuristin on tarkoitus toteuttaa kustannussyistä ilmasydämisenä käyttäen hyväksi nelikerroksista piirilevyä, jonka kuhunkin kerrokseen tehdään spiraalin muotoinen johdinkuvio ja johdinkerroksien spiraalit (siis 4 kappaletta) kytketään sarjaan. Piirilevyn kunkin eristekerroksen paksuus on  $0,85\ \text{mm}$  ja kunkin kuparikerroksen paksuus on  $0,1\ \text{mm}$ . Spiraalin johtimen leveys on  $0,5\ \text{mm}$  ja spiraalin kierrosten välinen etäisyys on  $0,125\ \text{mm}$ . Määrää kuristimen kierrosluku ja mitat kun tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman optimaalinen tulos.  
Tarvittavia kaavoja ja käyrästöjä on tehtävämonisteen lopussa.

## SEMIPACK® 1 Thyristor/ Diode Modules

SKKT 71 SKKH 71  
SKKT 72 SKKH 72  
SKKT 72 B



### Features

- Heat transfer through aluminum oxide ceramic isolated metal baseplate
- Hard soldered joints for high reliability
- UL recognized, file no. E 63 532

### Typical Applications

- DC motor control (e. g. for machine tools)
- AC motor soft starters
- Temperature control (e. g. for ovens, chemical processes)
- Professional light dimming (studios, theaters)

1) The voltage grades SKKT 72/08 D, 12 E, 14 E and 16 E are also available in SKKT ... B configuration (see p. 46)

V <sub>RSM</sub>	V <sub>RRM</sub>	V <sub>DRM</sub>	I <sub>T(RMS)</sub> (maximum value for continuous operation)	
			(dV/dt) <sub>cr</sub>	(dI/dt) <sub>cr</sub>
V	V	V	125 A	80 A
			I <sub>TAV</sub> (sin. 180; T <sub>case</sub> = 78 °C)	80 A
700	600	500	SKKT 71/06 D	SKKT 72/06 D
900	800	500	SKKT 71/08 D	SKKH 71/08 D
1300	1200	500	SKKT 71/12 D	SKKH 71/12 D
1500	1400	1000	SKKT 71/12 E	SKKH 72/12 E
1700	1600	1000	SKKT 71/14 E	SKKH 72/14 E
1900	1800	1000	SKKT 71/16 E	SKKH 71/16 E
2100	2000	1000	SKKT 71/18 E	SKKH 71/18 E
			SKKT 71/20 E	SKKH 71/20 E

Symbol	Conditions	SKKT 71 SKKH 71	SKKT 72 SKKH 72 B SKKH 72
I <sub>TAV</sub>	sin. 180; (T <sub>case</sub> = ...)	80 A (78 °C) 70 A (85 °C)	80 A (78 °C) 70 A (85 °C)
I <sub>D</sub>	B2/B6   T <sub>amb</sub> = 35 °C; P 3/180 F	115 A/150 A	115 A/150 A
I <sub>T(RMS)</sub>	W1/W3   T <sub>amb</sub> = 35 °C; P 3/180 F	155 A/3 x 115 A	155 A/3 x 115 A
I <sub>TSM</sub>	T <sub>vj</sub> = 25 °C	1600 A	1600 A
	T <sub>vj</sub> = 125 °C	1450 A	1450 A
a <sup>2</sup> t	T <sub>vj</sub> = 25 °C	13000 A <sup>2</sup> s	13000 A <sup>2</sup> s
	T <sub>vj</sub> = 125 °C	10500 A <sup>2</sup> s	10500 A <sup>2</sup> s
I <sub>gd</sub>	T <sub>vj</sub> = 25 °C; I <sub>g</sub> = 1 A; di <sub>g</sub> /dt = 1 A/μs	1 μs	1 μs
I <sub>gr</sub>	V <sub>D</sub> = 0,67 · V <sub>DRM</sub>	2 μs	2 μs
(dI/dt) <sub>cr</sub>	T <sub>vj</sub> = 125 °C	typ. 100 A/μs	typ. 100 A/μs
I <sub>q</sub>	T <sub>vj</sub> = 125 °C	typ. 80 μs	typ. 80 μs
I <sub>H</sub>	T <sub>vj</sub> = 25 °C;	typ. 150 mA; max. 250 mA	typ. 150 mA; max. 250 mA
I <sub>L</sub>	T <sub>vj</sub> = 25 °C; R <sub>G</sub> = 33 Ω	typ. 300 mA; max. 600 mA	typ. 300 mA; max. 600 mA
V <sub>T</sub>	T <sub>vj</sub> = 25 °C; I <sub>T</sub> = 200 A	max. 1,9 V	max. 1,9 V
V <sub>T(TO)</sub>	T <sub>vj</sub> = 125 °C	0,9 V	0,9 V
r <sub>T</sub>	T <sub>vj</sub> = 125 °C	3,5 mΩ	3,5 mΩ
I <sub>DD</sub> , I <sub>FD</sub>	T <sub>vj</sub> = 125 °C; V <sub>DD</sub> = V <sub>DRM</sub> ; V <sub>FD</sub> = V <sub>RRM</sub>	max. 20 mA	max. 20 mA
V <sub>GT</sub>	T <sub>vj</sub> = 25 °C; d. c.	3 V	3 V
I <sub>GT</sub>	T <sub>vj</sub> = 25 °C; d. c.	150 mA	150 mA
V <sub>GD</sub>	T <sub>vj</sub> = 125 °C; d. c.	0,25 V	0,25 V
I <sub>GD</sub>	T <sub>vj</sub> = 125 °C; d. c.	6 mA	6 mA
R <sub>thjc</sub>	cont.	0,35 °C/W / 0,18 °C/W	0,35 °C/W / 0,18 °C/W
	sin. 180	0,37 °C/W / 0,19 °C/W	0,37 °C/W / 0,19 °C/W
	rec.120	0,39 °C/W / 0,20 °C/W	0,39 °C/W / 0,20 °C/W
R <sub>thch</sub>	per thyristor/per module		
T <sub>vj</sub>	a. c. 50 Hz; r.m.s.; 1 s/1 min	-40 ... +125 °C	-40 ... +125 °C
T <sub>sig</sub>	3000 V- / 2500 V-		
V <sub>isol</sub>	Case to heatsink	5 Nm/44 lb. in. ± 15 % <sup>a)</sup>	5 Nm/44 lb. in. ± 15 % <sup>a)</sup>
M <sub>1</sub>	Busbars to terminals	3 Nm/26 lb. in. ± 15 %	3 Nm/26 lb. in. ± 15 %
M <sub>2</sub>		5 - 9,81 m/s <sup>2</sup>	5 - 9,81 m/s <sup>2</sup>
a	approx.	120 g	120 g
w			
Case		SKKT 71: A 5	SKKT 72: A 46

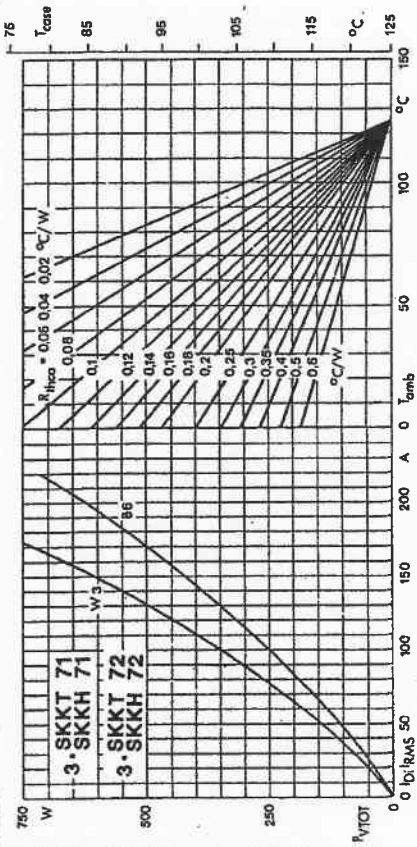


Fig. 4 Power dissipation of three modules vs. direct and rms current and case temperature

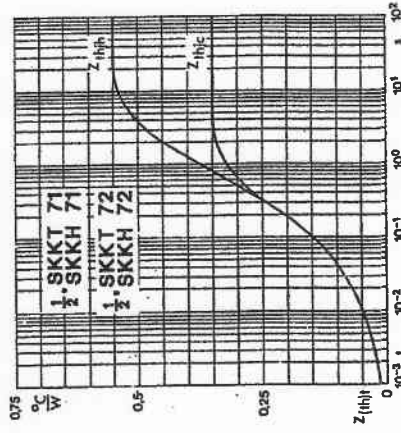


Fig. 6 Transient thermal impedance vs. time

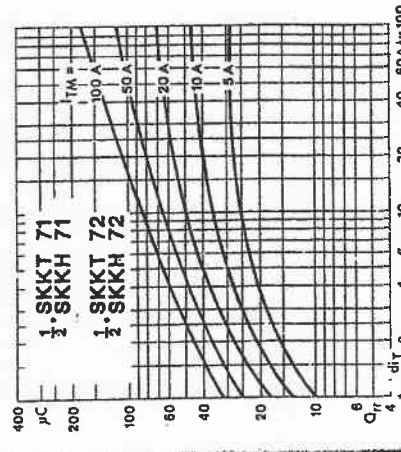


Fig. 5 Recovered charge vs. current decrease

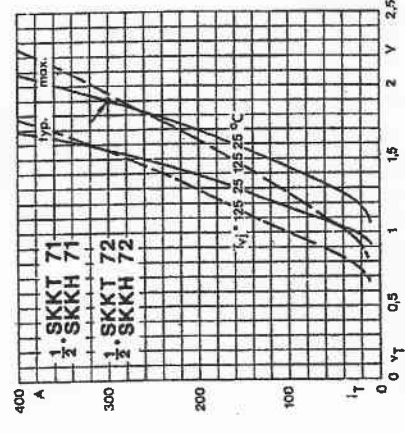


Fig. 8 On-state characteristics

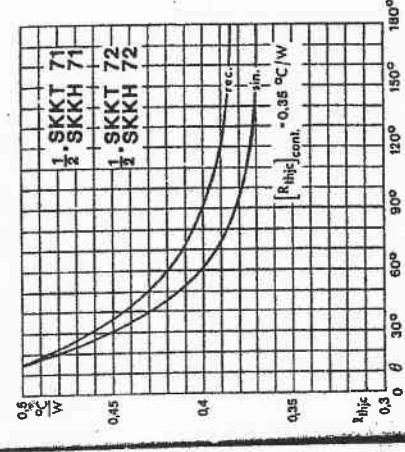


Fig. 7 Thermal resistance vs. conduction angle

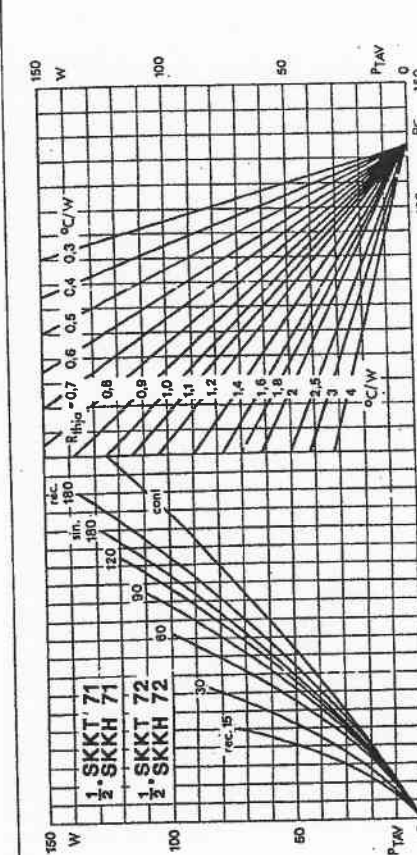


Fig. 1 Power dissipation per thyristor vs. on-state current and ambient temperature

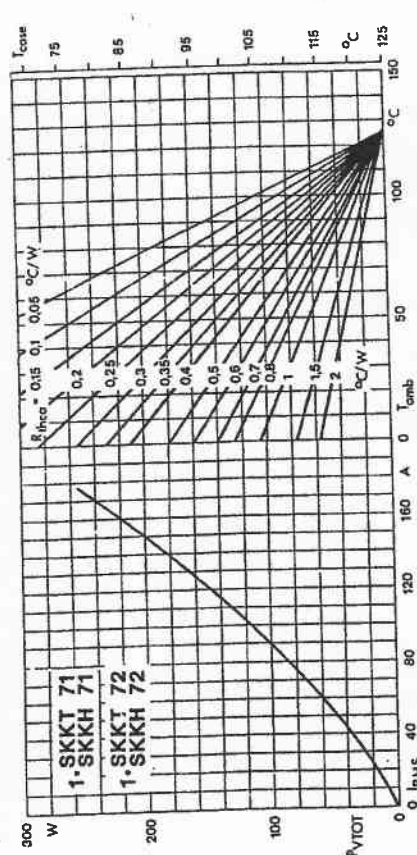


Fig. 2 Power dissipation per module vs. rms current and case temperature

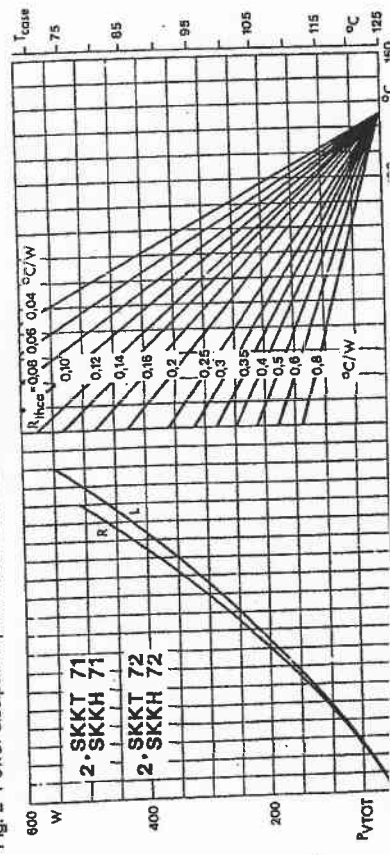


Fig. 3 Power dissipation of two modules vs. direct current and case temperature

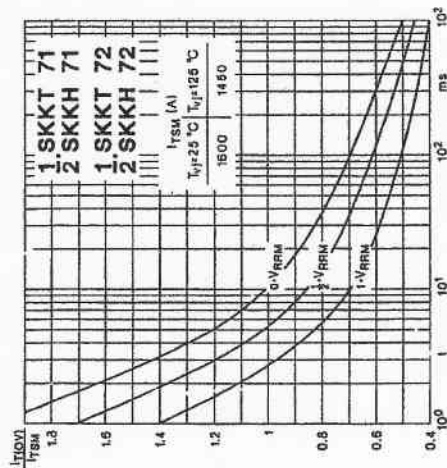


Fig. 9 Surge overload current vs. time

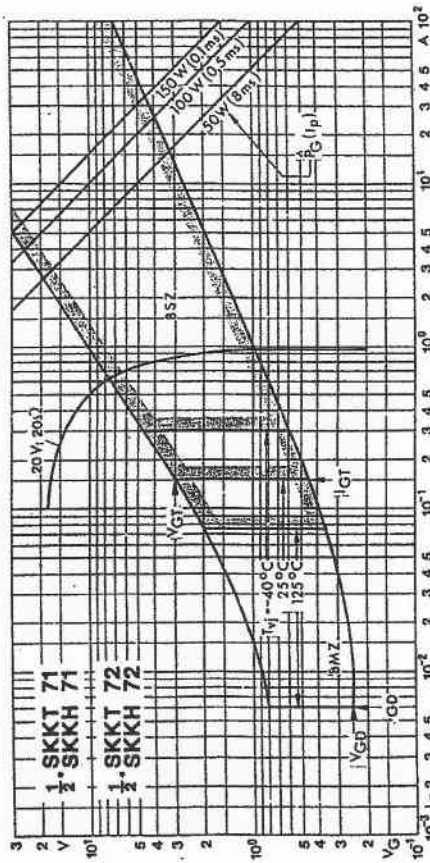
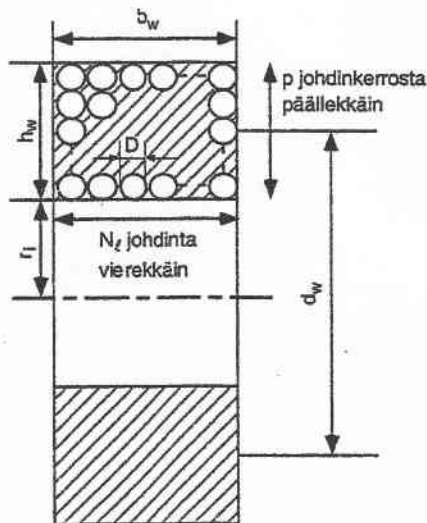


Fig. 10 Gate trigger characteristics

$V_{RSM}$	V	500	700	900	1300	1500	1700	Symb	$I_{TAV}$	$I_D$	$I_{RMS}$	$I_{TSM}$	$\beta_1$	$I_{GD}$	$I_{GT}$	$(di/dt)$	$I_q$	$I_H$	$I_L$	$V_T$	$V_{TTC}$	$V_T$	$V_{GT}$	$V_{GT}$	$V_{GD}$	$I_{GD}$	$R_{thjc}$	$R_{thca}$	$T_{Vj}$	$T_{SPT}$	$V_{SPT}$	$M_1$	$M_2$	a	w	Case
-----------	---	-----	-----	-----	------	------	------	------	-----------	-------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	-------	-------	-------	-------	-----------	-------	----------	----------	----------	----------	------------	------------	----------	-----------	-----------	-------	-------	---	---	------

an komponentit

nella. Kuvassa  
ms. lämpene-  
arilangan tulee  
yyden suurui-  
panoja kiertää  
ssa tarvittavaa  
tekemään itse.  
an poistamaan  
säikeitä,



Kuva 11.18. Ilmasydämisen kuristimen mitoituksessa tarvittavat mitat

$$\frac{L}{nH} = N^2 \phi(\eta, \zeta) \frac{d_w}{\text{cm}} \quad (11.40)$$

a käänimällä.

jossa

- $d_w$  = kelan keskihalkaisija
- $N$  = kierrosluku =  $N_l p$
- $\phi(\eta, \zeta)$  = kuvan 11.19 käyrästä saatava arvo

sen lujuuden  
käyttää kelan  
itointa runkoa  
sihaakselmiin  
in vaikuttavat

Kuvan 11.19 käyrästä käytetyt muuttujat määritellään

$$\eta = \frac{b_w}{d_w} = \frac{N_l D}{d_w} \quad (11.38)$$

onentti-epoksi  
minen käämin  
jännite-eroja  
Aikaa myöten

$$\zeta = \frac{h_w}{d_w} = \frac{p D}{d_w} \quad (11.39)$$

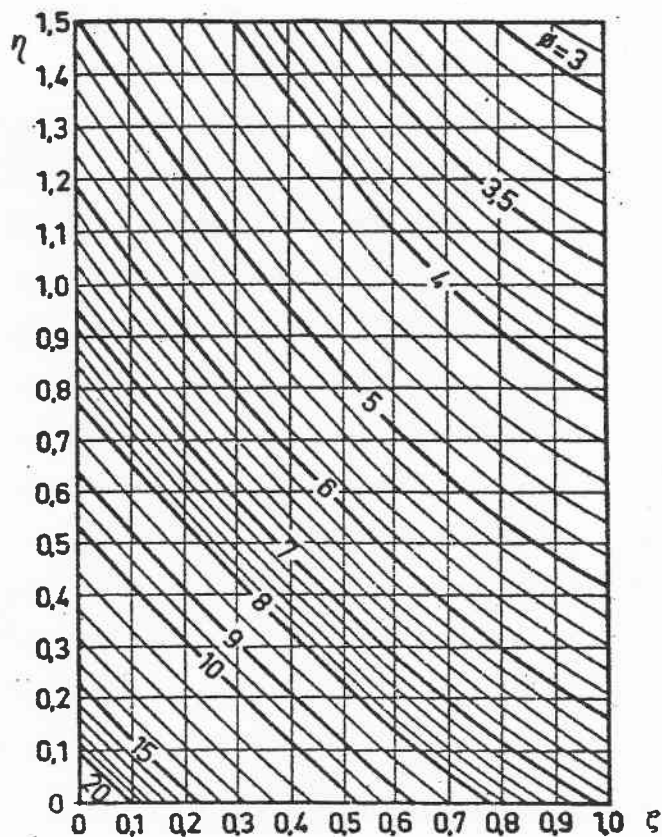
kkaa. Kuristin  
Pienitaajuisiin  
oska ahtaassa  
takia. Kotelo  
äntö on, että

joissa  $D$  on käämintään käytetyn johtimen keskimääräinen ulkohalkaisija, kuva 11.17,  $b_w$  käämin leveys ja  $h_w$  käämin korkeus.

Kuvassa 11.20 on esitetty johdinmenekin riippuvuus muuttujista  $\eta$  ja  $\zeta$ . Optimia on merkitty luvulla 100. Kuten nähdään, optimipiste on saavutettavissa arvoparilla

$$\eta = \zeta = 0,34 \quad (11.41)$$

asta /16/:



Kuva 11.19. Kuristimen ominaisinduktanssi  $\phi$  muotomuuttujien  $\eta$  ja  $\zeta$  funktiona [16].

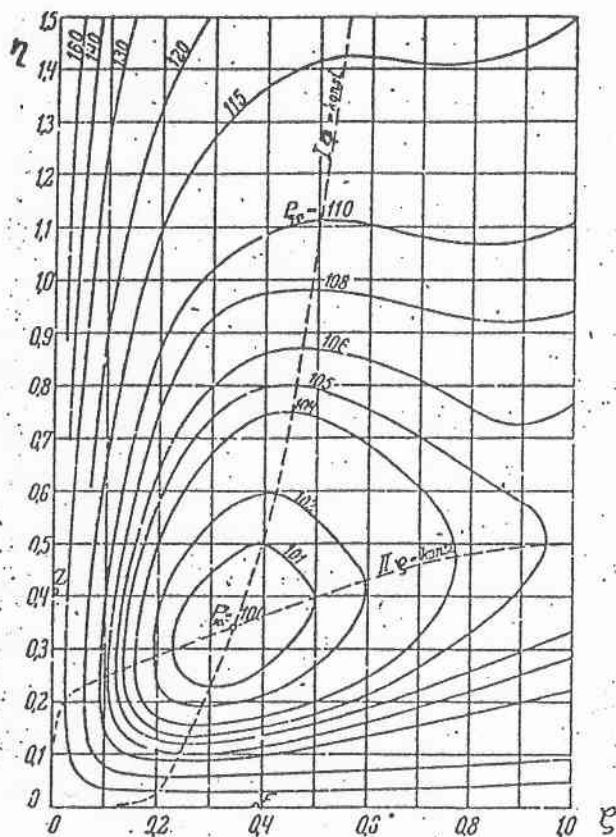
Optimialue on melko laaja. Sopivat arvovälit muotomuuttujille ovat siten

$$0,23 < \eta < 0,5$$

$$0,23 < \zeta < 0,5$$

(11.42)





Kuva 11.20. Johtimen kulutus muotomuuttujien  $\eta$  ja  $\zeta$  funktiona,  $P = 100$  on optimi /16/.

Säikeiden määrän perusteella valitaan sopiva johtimen rakenne, esimerkiksi kuvassa 11.17 esitetty. Jos säikeitä on vähemmän kuin viisi, on järkevää jättää eristeköysi pois keskeltä. Toisaalta jos säikeitä tarvitaan enemmän kuin seitsemän, on järkevää kiertää säikeet ensin muutamaan nippuun, jotka sitten kierretään keskenään, tarvittaessa eristeköysiä käyttäen.

**Aksiaalisen kierron**, samoin kuin eristeköyden, tarkoituksena on estää johtimen sisäinen virranahto saattamalla kaikki säikeet keskenään samanarvoiseen asemaan. Tarvittavalle kierrolle on olemassa nyrkkisääntö /17/

$$l_t \leq \frac{d_i}{D_i} l \quad (11.43)$$

jossa  $l_t$  on matka, jossa säikeet ovat tehneet täyden aksiaalisen kierron keskenään ja  $l$  on johtimen pituus kuristimessa, eli  $N \pi d_w$ . Keskenään kierrettävien säikeiden tai nippujen halkaisija on  $d_i$  ja  $D_i$  on kussakin kierrossa syntyvän nipun keskihalkaisija. Jos käämin kierrosluku  $N$  on suurempi kuin kymmenen, riittää pelkästään nippujen kiertäminen keskenään. Tällöin ei myöskään nipuissa tarvitse käyttää eristysköyttä.

Tentti 13.12.2010

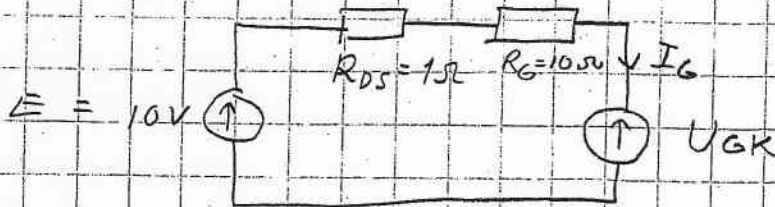
RATKAISUT

Teht. 1...3: katso moniste

Teht. 4

(vrt. L#3 teht. 3)

Sijaiskytkentä



$$E = (R_{DS} + R_G) I_G + U_{GK}$$

Taulukoidaan hilapiirin ominaiskäyrä:

$$U_{GK} = E - (R_{DS} + R_G) I_G = 10V - 11\Omega I_G$$

$I_G / A$	$U_{GK} / V$
0,1	8,9
0,2	7,8
0,3	6,7
0,4	5,6
0,5	4,5
0,7	2,3
0,9	0,1

Piirretään datalehden kuvaan 10

⇒ Toimii  $-40^\circ C$

lämpötilassa koska valmistajan ilmoittaman hilapiirin vaihteluvälin sisällä ollaan  $-40^\circ C$  rajan ulkopuolella

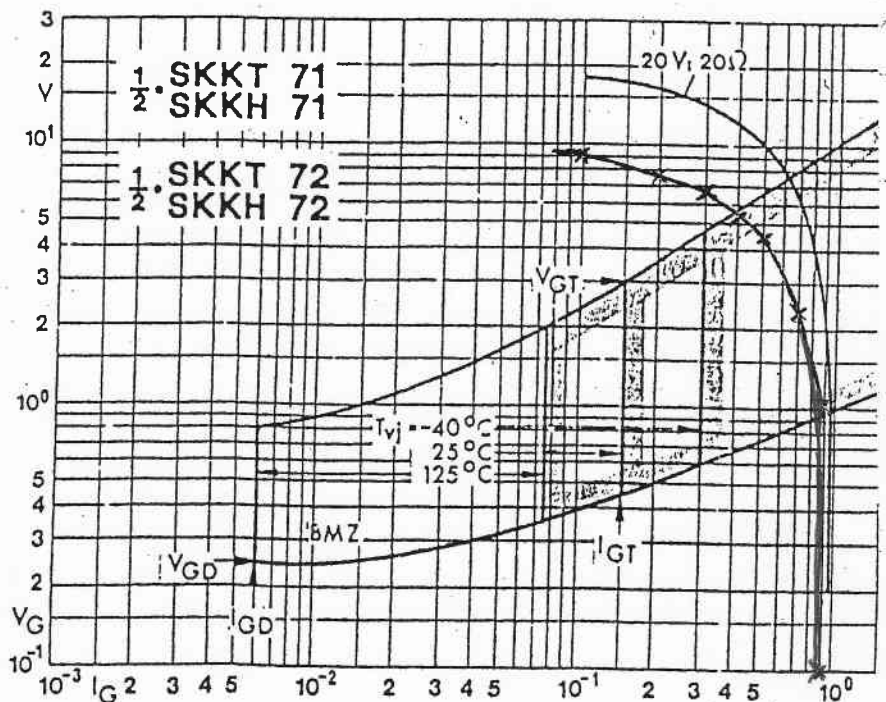


Fig. 10 Gate trigger characteristics



Teht. 4 jatkoa

Maksimiteho kun kylan impedanssi on syöttävän lähteen resistanssin suuruinen, eli.

$$\frac{U_{GK}}{I_G} = R_G + R_{DS}$$

$$\Rightarrow E = 2(R_G + R_{DS}) I_G$$

$$\Rightarrow I_G = \frac{E}{2(R_G + R_{DS})}$$

$$\Rightarrow P_{\max} = (R_G + R_{DS}) I_G^2 = \frac{E^2}{4(R_G + R_{DS})} = \frac{(10V)^2}{4 \cdot 11 \Omega}$$

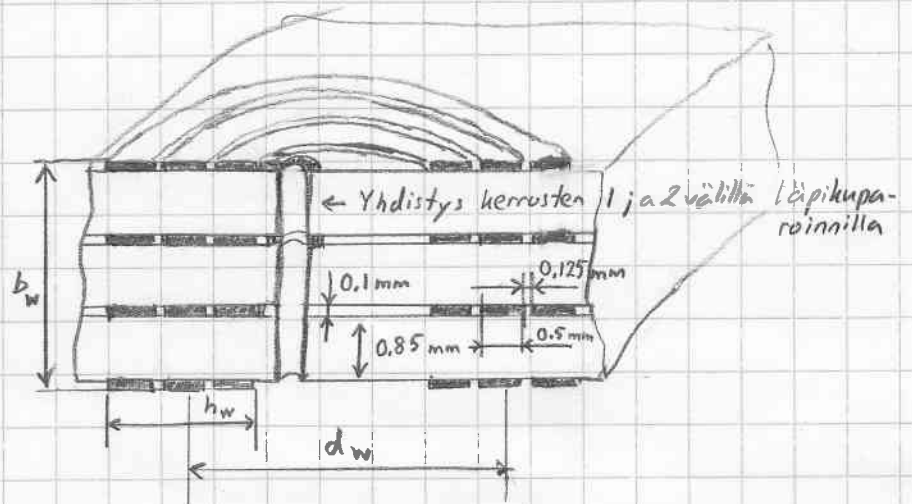
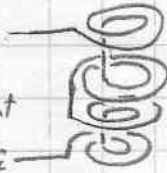
$$\approx \underline{\underline{2.3 \text{ W}}}$$

Teht 5

Rakennepiirite  
(kuvasssa halkileikkauksena)  
 $4 \times 3 = 12$  kierrosta

Huom!

Spiraalit ovat  
peilikuvla  
vierekkäisissä  
kerroksissa!



$$b_w = 3 \cdot 0,85 \text{ mm} + 4 \cdot 0,1 \text{ mm} = 2,95 \text{ mm} = 0,295 \text{ cm}$$

$$\eta = \frac{b_w}{d_w} = \frac{0,295 \text{ cm}}{d_w}$$

$$\gamma = \frac{h_w}{d_w} = \frac{N_e \cdot D + (N_e - 1) d_{väli}}{d_w}$$

$$= \frac{N_e (D + d_{väli}) - d_{väli}}{d_w} = \frac{N_e \cdot 0,05125 \text{ cm} - 0,0125 \text{ cm}}{d_w}$$

jossa  $D = 0,5 \text{ mm} = 0,05 \text{ cm}$

$d_{väli} = 0,125 \text{ mm} = 0,0125 \text{ cm}$

$N_e =$  kierrosten määrä kerroksessa

$$N = p \cdot N_e = 4 \cdot N_e$$

$$\frac{L}{1 \text{ nH}} = N^2 \phi(2,5) \frac{d_w}{1 \text{ cm}}$$

$$L = 47 \mu\text{H} = 47000 \text{ nH}$$

Optimipiste  $\phi(0,34, 0,34) = \phi_{\text{opt}} \approx 8,3$

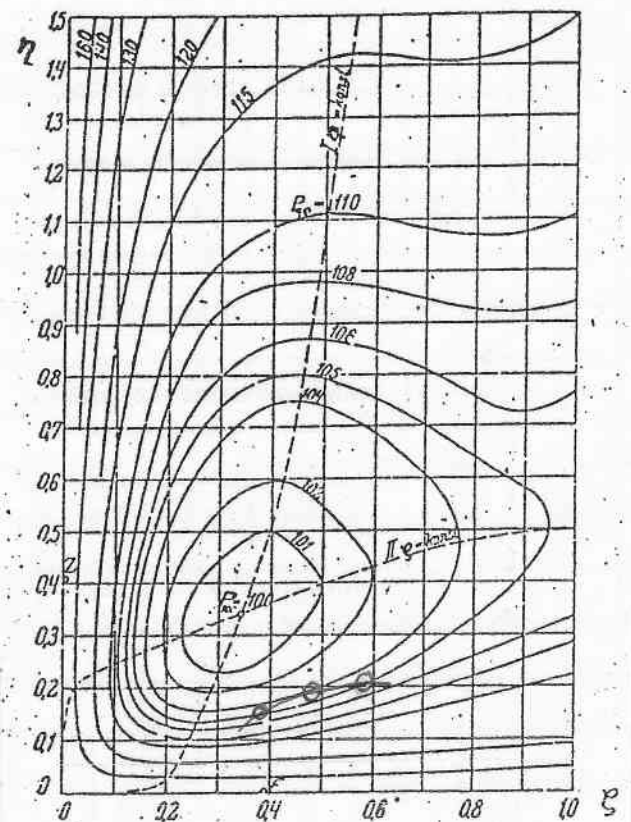
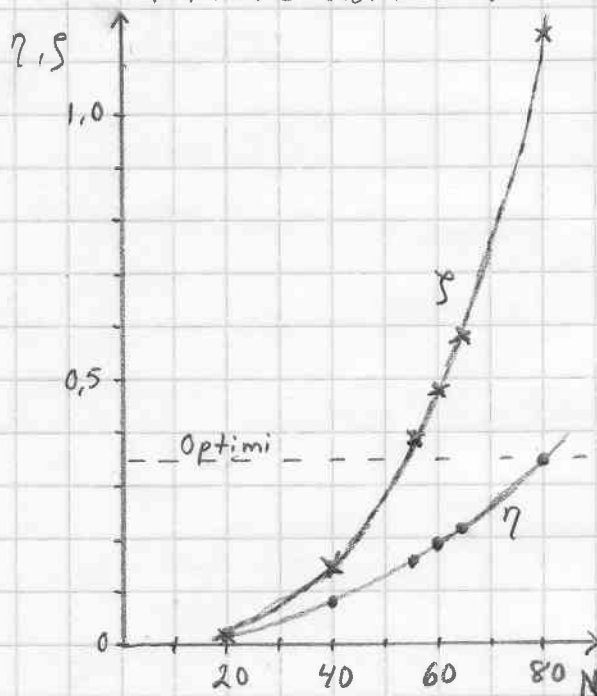
Taulukoidaan  $d_w = \frac{\frac{L}{1 \text{ nH}} \cdot 1 \text{ cm}}{N^2 \cdot \phi_{\text{opt}}} = \frac{47000 \text{ cm}}{N^2 \cdot 8,3}$

$$= \frac{5662,7 \text{ cm}}{N^2}$$

$N_0$	$N$	$d_w$	$h_w$	$\eta$	$\xi$
5	20	14,2 cm	0,24 cm	0,02	0,02
10	40	3,5 cm	0,50 cm	0,08	0,14
20	80	0,88 cm	1,01 cm	0,34	1,15
14	56	1,81 cm	0,71 cm	0,16	0,39
15	60	1,57 cm	0,76 cm	0,19	0,48
16	64	1,38 cm	0,81 cm	0,21	0,58

Nähdään, että optimi jossain tällä välillä, lasketaan vielä muutama piste

Piirretään kuva taulukosta



Piirtämällä pisteet johdin kulutus käyrään 11.20 nähdään, että  $N_L = 15$  eli  $N = 60$  on paras vaihtoehto, vain  $\approx 4\%$  pidempi johdin kuin optimi tapauksessa

Lopuksi on etsittävä tarkkan induktanssiarvon antava halkaisija

Edellä saatu piste  $\eta = 0,19$   $\xi = 0,48$   
antaa kuvan 11.10 käyrästä  $\phi \approx 8,4$

$$\text{Siten } L \approx 60^2 \cdot 8,4 \cdot \frac{1,57 \text{ cm}}{1 \text{ cm}} \cdot 1 \text{ nH} = 47,5 \mu\text{H}$$

Menee siis vain 1% yli.

Tämä on niin lähellä haluttua, että tarkempaa halkaisijaa ei tällä kertaa kannata hakea.

(Jos nyt kuitenkin asia kiinnostaa, niin esimerkiksi arvolla  $d_w = 1,5 \text{ cm}$  saadaan  $\eta \approx 0,2$   $\xi = 0,51$  jota vastaa  $\phi \approx 8,2$  ja edelleen  $L \approx 44,3 \mu\text{H}$

Lineaarisella interpolaatiolla

$$d_w = \frac{1,57 \text{ cm} - 1,5 \text{ cm}}{47,5 \mu\text{H} - 44,3 \mu\text{H}} (L - 44,3 \mu\text{H}) + 1,5 \text{ cm}$$

johon sijoittamalla  $L = 47 \mu\text{H}$  saadaan  $d_w \approx 1,56 \text{ cm}$ )

Ulkohalkaisija on siis, jos käytetään arvoa  
 $d_w = 1,56 \text{ cm}$ ,  $d_w + h_w \approx 1,56 \text{ cm} + 0,76 \text{ cm} \approx 2,32 \text{ cm}$   
sisähalkaisija vastaavasti  $d_w - h_w = 1,56 - 0,76 \approx 0,80 \text{ cm}$

Vie siis jonkin verran tilaa piirilevyllä. Lisäksi lähellä ei saa olla sähköä johtavia osia. Ja laitteessa on oltava metallikuori hajakentän vaimentamiseksi laitteen ulkopuolella. Ei siis sovelu mihinkään pienikokoiseen laitteeseen.