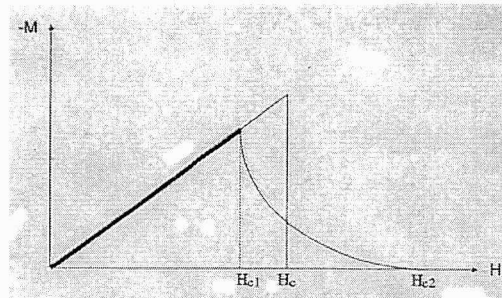


## Laskimen käyttö sallittu.

1. Selitä oheista kuvaa hyödyntäen, mitä ymmärretään I- ja II-lajin suprajohteilla. Selvitä edelleen, mitä ymmärretään koherenssipituudella, tunkeutumissyvyydellä ja pinning-keskuksella. Meissner-ilmiö on vain suprajohteille tyypillinen ominaisuus, joka ei selity pelkästään ideaalisella sähkönjohtavuudella. Miksi?



2. Useimmat suprajohtavuuden energiasovellutuksista ovat vaihtovirtasovellutuksia. Minkätyyppisiä AC-häviöitä suprajohtimessa voi syntyä ja miten näitä häviöitä pyritään pienentämään? Esitä edelleen suprajohteiden  $E(J)$ -käyrää kuvaava potenssilaki. Osoita tämän avulla, että LTS-materiaalissa ei juurikaan tapahdu tehohäviöitä alikriittisillä virroilla, mutta HTS-materiaalissa ko. häviöt on otettava huomioon.
3. Tarkastellaan kahta  $Nb_3Sn$ -suprajohteesta valmistettua SMES-solenoidia. Toinen magneeteista jäähdytetään nesteheliumilla ja toinen käyttäen mekaanista jäähdytystä. Hahmota kumpaisenkin magneetin kryostaattirakenetta ja vertaile niitä keskenään. Mikäli magneetteja käytetään siirtoverkon stabilointiin (jolloin magneettia ladataan ja puretaan hyvin nopeasti), muodostuu mekaaninen jäähdytys ongelmaksi. Miksi?
4. Selitä kolme eri tapaa, millä suprajohtemagneetti voidaan suojata mahdollisen normaalitilaan siirtymisen varalta.

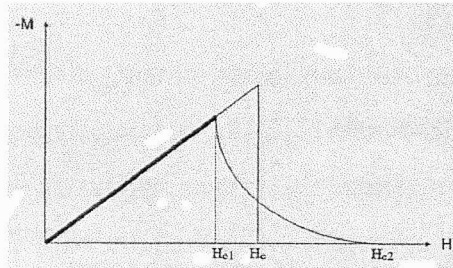
KÄÄNNÄ!

5. Vastaa lyhyesti

- a) Miksi tehonsiirtokaapeleita voidaan pitää yhtenä potentiaalisimmista energiasovellutuksista, joissa voidaan hyödyntää HTS-materiaaleja nestetyden lämpötilassa?
- b) Millä eri tekniikoilla HTS-materiaaleja voidaan hyödyntää vauhtipyörissä?
- c) Kaupalliset MRI-laitteiden magneetit on valmistettu NbTi/Cu suprajohteesta. Kyseessä on DC-laite, jossa magneetti on persistoitu. Miksi persistointi on vaikeaa HTS-magneeteissa?
- d) Suprajohtavuutta hyödyntävien virranrajoittimen eri tyypit.
- e) Suprajohtavuuden hyödyntäminen induktiokuumentimessä.
- f) Mitä tarkoitetaan lambda-linjalla?

## Laskimen käyttö sallittu

1. Selitä oheista kuvaa hyödyntäen, mitä ymmärretään I- ja II-lajin suprajohteilla. Selvitä edelleen, mitä ymmärretään koherenssipituudella ja tunkeutumissyvyydellä.



2. Olet suunnittelemassa suprajohtavaa energiavarastomagneettia (SMES)
- Esitä käämin (solenoidi) poikkileikkauksen avulla Lorentz voimista aiheutuvat eri jännitystilat.
  - Vertaile solenoidi- ja toroidityyppisen käämigeometrian etuja ja haittoja.
  - SMES-järjestelmän toimintaperiaate – edut ja haitat.
3. Nesteheliumiin siirtyä lämpöä johtamalla teräksestä valmistettua sylinterimäistä tukirakennetta pitkin (muuta lämmönsiirron mekanismeja ei tässä oteta huomioon), jota ei jäähdytetä höyrystyvällä heliumkaasulla. Umpinaisen sylinterin poikkipinta-ala on  $20 \text{ mm}^2$  ja pituus 200 mm. Mikäli tukiputken puoleenväliin liitetään kryojäähdytin on ankkurointipisteessä putken lämpötila 70 K. Kuinka paljon edullisemmaksi käyttökustannuksiltaan ratkaisu on verrattuna tilanteeseen, jossa kryojäähdytintä ei käytetä. Teräksen lämmönjohtavuuden integraali lämpötilavälillä 300 K – 4.2 K on 3100 W/m ja välillä 70 K – 4.2 K 200 W/m. Nesteheliumin höyrystymislämpö on 20.4 J/g ja tiheys  $125 \text{ kg/m}^3$ . Kryojäähdytin vaati ma teho huoneen lämpötilassa on 10 kW, sähkön hinta € 0.1/kWh ja nesteheliumin hinta €10/litra.

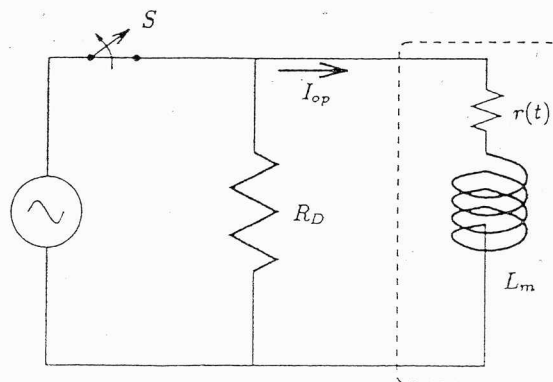
KÄÄNNÄ!

4. Kaupallisia suprajohteita on tänä päivänä kuusi erilaista. Vertaile näitä
- a) johdinkonfiguraation
  - b) sähkömagneettisten ominaisuuksien
  - c)  $E(J)$  -käyrän (sähkökentän voimakkuus – virrantiheys)
  - d) energiatekniikan sovellutusten näkökulmista.
5. Vastaa lyhyesti
- a) Miksi tehonsiirtokaapeleita voidaan pitää yhtenä potentiaalisimmista energiasovellutuksista, joissa voidaan hyödyntää HTS-materiaaleja nestetyden lämpötilassa?
  - b) Millä eri tekniikoilla HTS-materiaaleja voidaan hyödyntää vauhtipyörissä?
  - c) Kaupalliset MRI-laitteiden magneetit on valmistettu NbTi/Cu suprajohteesta. Kyseessä on DC-laite, jossa magneetti on persistoitu. Miksi persistointi on vaikeaa HTS-magneeteissa?
  - d) Suprajohtavuutta hyödyntävien virranrajoittimen eri tyypit.
  - e) Mitä tarkoitetaan pinning-keskuksella?
  - f) Mitä tarkoitetaan lambda-linjalla?



## Laskimen käyttö sallittu

1. Tee tekninen ja taloudellinen vertailu tämän päivän kaupallisista suprajohteyhdisteistä.
2. Suprajohtemagneetti on käämitty halkaisijaltaan 1 mm:n NbTi/Cu langasta, jolle Cu:NbTi suhde on 1. Hahmota langan ns. short-sample käyrä sekä magneetin kuormituskuora. Selvitä kuvaa käyttäen, mitä ymmärretään ns. training-ilmiöllä. Hahmota tilanne 4.2 K:n ja 1.8 K:n lämpötiloissa. Miksi training on vähäisempää solenoidilla kuin ns. race-track tyyppisellä käämityksellä? Kyseisestä langasta tulisi edelleen valmistaa energiavarastomagneetti. Vertaile solenoidi- ja toroidityyppisen käämitysten etuja ja haittoja.
3. Useimmat suprajohtavuuden energiasovellutuksista ovat vaihtovirtasovellutuksia. Minkä tyyppisiä AC-häviöitä suprajohtimessa voi syntyä ja miten näitä häviöitä pyritään pienentämään? Esitä edelleen suprajohteiden  $E(J)$ -käyrää kuvaava potenssilaki. Mitä nämä tarkoittavat LTS ja HTS materiaalien kohdalla normaalitilaan siirtymisen suhteen?
4. Suprajohtava energiavarastomagneetti on suojattu kuvan mukaisesti suojavastuksella  $R_D$ . Magneetin siirtyessä normaalitilaan ajanhetkellä  $t = 0$ , kytkin  $S$  avautuu. Määritä magneetin virta  $i(t)$ , kun  $t \geq 0$ , kun syntyneen normaalialueen resistanssi  $r(t) \ll R_D$ .  $L_m = 3$  H,  $R_D = 6$   $\Omega$  ja  $i(0) = 300$  A.



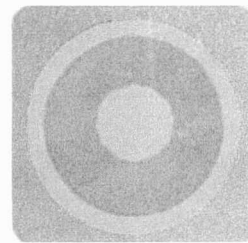
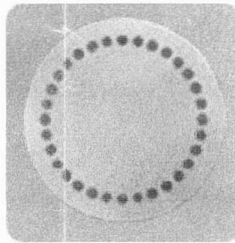
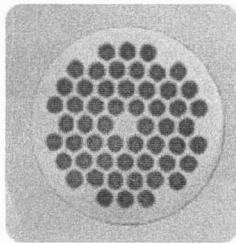
KÄÄNNÄ!

Jos magneetin energia oletetaan tasan jakautuneeksi koko magneetin yli, kuinka korkeaksi käämin lämpötila nousee? Magneetin operointilämpötila  $T_{op} = 4.2$  K, käämin ominaislämpökapasiteetti  $C_p = 1000$  kJ/m<sup>3</sup>K ja käämin tilavuus  $V = 0.003$  m<sup>3</sup>. Oletetaan lämmitysteho virran vaimenemisen aikana vakioksi. Määritä virran vaimenemiseen kulunut aika ajaksi, jolloin virran arvo on pudonnut 1 A:iin.

5. Selitä lyhyesti seuraavat käsitteet

- |    |                        |    |               |
|----|------------------------|----|---------------|
| a) | Wiedemann-Franzin laki | d) | SQUID         |
| b) | koherenssipituus       | e) | quench-back   |
| c) | lambda-linja           | f) | PIT-menetelmä |

1. Selitä, mitä ymmärretään ensimmäisen ja toisen lajin suprajohteella. Meissner-ilmiö on vain suprajohteille tyypillinen ominaisuus, joka ei selity pelkästään ideaalisella sähkönjohtavuudella. Miksi?
2. Mitä ymmärretään vuonohyppyllä ja mihin sen ehkäisemisessä pyritään? Alla on kolmen LTS-johtimen poikkileikkaus. Minkä niistä valitsisit vaihtovirtageneraattoriin ja miksi?



3. Osoita suprajohteille ominaisen potenssilain avulla, että LTS-materiaalissa ei juurikaan tapahdu tehohäviöitä alikriittisillä virroilla, mutta HTS-materiaalissa ko. häviöt on otettava huomioon. Olet tehnyt ekvivalenttiset SMES-solenoidit NbTi/Cu ja Bi-2223/Ag suprajohteista. Missä kohtaa solenoideja sijaitsee todennäköisin kohta normaalialueen syntymiselle ja miksi?
4. Tarkastellaan kahta Nb<sub>3</sub>Sn-suprajohteesta valmistettua SMES-solenoidia. Toinen magneeteista jäähdytetään nesteheliumilla ja toinen käyttäen mekaanista jäähdytystä. Hahmota kumpaisenkin magneetin kryostaattirakenetta ja vertaile niitä keskenään. Mikäli magneetteja käytetään siirtoverkon stabilointiin (jolloin magneetti ladataan ja puretaan hyvin nopeasti), muodostuu mekaaninen jäähdytys ongelmaksi. Miksi?
5. Selitä kolme eri tapaa, millä suprajohtemagneetti voidaan suojata mahdollisen normaalitilaan siirtymisen varalta.



KÄÄNNÄ!

6. Vastaa lyhyesti:

- a) Miksi tehonsiirtokaapeleita voidaan pitää yhtenä potentiaalisimmista energiasovellutuksista, joissa voidaan hyödyntää HTS-materiaaleja nestetyypen lämpötilassa?
- b) Millä eri tekniikoilla HTS-materiaaleja voidaan hyödyntää vauhtipyörissä?
- c) Kaupalliset MRI-laitteiden magneetit on valmistettu NbTi/Cu suprajohteesta. Kyseessä on DC-laite, jossa magneetti on persistoitu. Miksi persistointi on vaikeaa HTS-magneeteissa?
- d) Mitä tarkoitetaan RRR-arvolla?
- e) Mitä tarkoitetaan pinning-keskuksella?
- f) Mitä tarkoitetaan lambda-linjalla?

