

Kvanttivärähtelijän viilentäminen Josephsonin parametrisella muuntajalla

Eppu Leinonen

Viime vuosikymmeninä kiinnostus kvanttietokoneisiin on kasvanut. Tämä kiinnostus perustuu siihen, että osa kvanttietokoneilla suoritettavista niin kutsutuista kvanttialgoritmeista ovat teoreettisesti nopeampia kuin parhaimmat tunnetut klassiset algoritmit. Kvanttikoneet perustuvat kvanttibitteihin, eli kubitteihin, jotka ovat ideaalisesti kaksitasoisia kvanttisysteemejä. Toisaalta kvanttialgoritmit olettavat tyypillisesti, että kubitit aloittavat perustiloistaan. Täten kvanttialgoritmien tehokas toteuttaminen edellyttää, että kubitit voidaan alustaa perustilaan nopeasti ja luotettavasti. Muutoin algoritmien tulokset vääristyvät.

Tällä hetkellä yksi lupaavimmista kubittityypeistä kvanttietokoneiden mahdollistamiseksi perustuu suprajohteisiin. Tässä seminaarissa tarkastellaan mahdollista menetelmää suprajohtavien kubittien alustamiseen, joka perustuu neliaaltosekoitukseen. Neliaaltosekoituksessa neljä eri signaalia vuorovaikuttavat keskenään vaihtaen energiaa, mikä kvanttimekaniikassa vastaa fotonien vaihtamista neljän eri systeemin välillä. Toisin sanoen kubittia viedään kohti sen perustilaa siirtämällä sen fotoneja muualle – tässä tapauksessa kahteen kvanttivärähtelijään vaihtojännitelähteen avustuksella. Muut värähtelijät ovat kytettyinä viileisiin lämpökylpyihin, jolloin ne luovuttavat saamansa fotonit heti kylpyihinsä pois viilennettävän värähtelijän ympäristöstä. Neliaaltosekoitus toteutetaan Josephsonin parametrisella muuntajalla. Josephsonin parametrinen muuntaja on virtapiiri, joka on suunniteltu suprajohtavissa piireissä aaltosekoitusten toteuttamiseksi.

Yksinkertaisuuden vuoksi mallinnuksessa suprajohtava kubitti, joita on monia erilaisia, korvataan suprajohtavalla kvanttivärähtelijällä. Kvanttivärähtelijöiden tapauksessa fotonien poistamista kutsutaan myös värähtelijän viilentämiseksi.

Seminaarissa esitetään numeerisilla simulaatioilla saadut tulokset siitä, kuinka suuri menetelmän viilennysteho on ja kuinka nopeasti viilennysteho on saavutettavissa vaihtojännitelähteen jännitteen ja taajuuden funktiona. Tuloksien mukaan ainakin 25 %:n viilennysteho ja 38.4 ns:n tyypillinen viilennysaika ovat saavutettavissa. Viilennysteho kertoo suhteellisen muutoksen värähtelijän fotoniluvussa, ja tyypillinen viilennysaika kertoo suuruusluokan sille, kuinka nopeasti viilennysteho on saavutettavissa.

Simulaatioiden tulosten mukaan viilennysteho siis jää vielä sovelluksiin nähden liian pieneksi ja viilennysaika suureksi. Kuitenkin tuloksista nähdään, että todennäköisesti tarkasteltua suuremmilla vaihtojännitelähteen jännitteillä, huomattavasti suuremmat viilennystehot ja pienemmät viilennysajat ovat mahdollisia. Suurempien jännitteiden tarkasteleminen edellyttää suurempaa muistimäärää ja laskentatehoa kuin, mitä numeerisia simulaatioita tehdessä on käytetty. Täten aihe vaatii vielä lisää tutkimusta erityisesti suurteholaskennalla, ennen kuin varmoja johtopäätöksiä menetelmän sovellettavuudesta voidaan tehdä.