

SUMMARY

This thesis has been written in cooperation with Tallinn University of Technology Technomedicum and NMR Institute. The present work aims to provide a prescription on how to assemble a device which should contribute to controlling rapidly rotating nuclear magnetic resonance rotors in automated manner. So far, these systems are mainly driven by manually adjustable pressure regulators. The rotational speed feedback is obtained from an optical reader and the signal is converted by means of the USB oscilloscope into Fourier' spectrum. From the spectrum peak signal user can see the real spinning speed value. The new spin activation system on the other hand replaces those manually driven pressure regulators with electronically driven pressure regulators. This allows the user to simply select a spinning pressure datasheet (protocol) and run the system „on its own“. In the graphical user interface the user has all the necessary feedback for the spinning status as well as current pressures, thus replacing the need of using additional USB oscilloscope. In the given graphical user interface every NMR operator should be able to start up the high speed rotation system.

Nuclear magnetic resonance high speed rotation systems can be interpreted as stator-rotor systems, where the rotor diameter is less than 1mm and the speeds go up to 100kHz (100 000 rotations per second) or even more. Those rotors are mechanically separated from any physical contact with the stator by a gas lubrication layer. This technique allows the rotor to rotate with minimum friction and reach surface speeds close to the sound barrier. Unfortunately every mechanical system has its limits and at some point the gas lubrication starts also to hinder the spinning. At maximum speeds the gas velocity approaches transsonic situation and the system would have increasing amounts of turbulent streams. The bearing effect will be compromised which in turn may lead to instability of the spinning axis escalating to a damaging physical contact with the stator.

The present work proposes the first rudimentary design, where the control unit adjusts pressures for the spinning system by empirically predetermined pressure table, to obtain the necessary spinning speed for an NMR experiment. Later it is possible to develop the system even further to have sophisticated speed stabilization algorithm, so that the system is able to maintain the set speed within $\pm 500\text{Hz}$. In addition it is possible to find the self resonances of the rotor while spinning up the system by increasing gas pressures linearly in time. While spinning up the „FT Waterfall“ plot is recorded and from that plot one can read out small speed jumps. Those speed jumps refer to critical rotational speeds – self resonances. This self resonance analyses is necessary to optimize the length of the rotor and maximum spinning speeds, also assess the quality of rotor filling. The whole design is versatile enough to implement other smart sample spinning protocols, like axial shuttling and speed or spinning axis modulation.

KOKKUVÕTE

Käesolev lõputöö on valminud koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Tehnomeedikumi ja NMR Instituudiga. Töö eesmärgiks on luua ettekirjutis, kuidas valmistada seadeldis, mis peaks aitama selle valdkonna mõõteseadmete kiireid rotatsioonisüsteeme käima panema automatiseerituna. Siiani on neid süsteeme juhitud käsitsi reguleeritavate rõhureduktoritega. Rootori rotatsiooni kiiruse kohta saadakse tagasisidet optilise loenduriga, mille signaal teisendatakse USB ostsilloskoobi abil Fourier' spektriks. Selle spektri kõrgema piigi sagedusest saab kasutaja teada rotatsiooni reaalse kiiruse. Uues süsteemis on asendatud käsireduktorid elektrooniliselt tüüritavate rõhureduktoritega ning seeläbi on kasutajal lihtne arvutiprogrammi abil valida õige rotatsiooni protokoll ning panna süsteem käima „iseseisvana“. Arvutiprogrammis on välja toodud kõik vajalikud sensorite tagasisided ning asendatud USB ostsilloskoobi vajadus. Antud graafilises arvutiprogrammi keskkonnas peaks iga TMR operaator olema võimeline neid kiireid rotatsioonisüsteeme käima panema raskusteta.

Tuuma magnetresonantsi kiirete rotatsioonisüsteemidena võib käsitleda staator-rootor süsteeme, kus rootori diameeter on alla 1mm ja kiirused saavutavad kuni 100 kHz (st. 100 000 pööret sekundis) või rohkemgi. Rootorite laagerduseks on gaasipadi, mis hoiab rootorit kokku puutumast staatoriga ning selle tõttu on võimalik saavutada ka suuremaid kiirusi, sest hõõrdejõud on väike, kuigi suurematel kiirustel hakkab gaasipadi samuti mõjuma rootori pöörlemisele takistavalt. Maksimaalsel kiirusel saavutab kasutatav gaas peaaegu helikiiruse ning sellest tingituna hakkavad süsteemis tekkima mittevajalikud turbulentsid. Seeläbi on laagerduseffekt häiritud, mis võib viia olukorrani, kus rootor satub kahjulikku kontakti staatoriga, millele võib järgneda rootori ja staatori pöördumatu purunemine.

Töö põhiosa toob välja süsteemi esialgse arenduse, kus süsteemile antavaid rõhkusid valib arvutiprogramm empiiriliselt etteantud rõhkude tabelist (protokollist), et saavutada vastav rotatsioonikiirus TMR eksperimendi jaoks. Hiljem on sellest võimalik välja arendada ka keerukam süsteem, kus see süsteem oskab hoida ja muuta rõhkusid nii, et rootor pöörleks võimalikult täpselt vajamineva kiirusega, see tähendab, et kui valitakse programmis vajalik kiirus, püüab süsteem hoida seda kiirust ca ± 500 Hz vahemikus seadekiirusest. Lisaks on võimalik leida ka rotatsioonil tekkivad rootori omaresonantsid, kui rõhkusid kasvatada lineaarse kiirusega nimipöörlemiskiiruseni 37

ning seeläbi on võimalik leida „FT Waterfall“ graafikult väikesed kiirusemuutused, mis üldjuhul peaks näitama ära kriitilised pöörlemissagedused - omaresonantsid. See omaresonantsi analüüs on vajalik ka selleks, et optimeerida rootori pikkust ning maksimaalset pöörlemiskiirust, lisaks rootori täitmise kvaliteeti. Kogu disain on

piisavalt paindlik, et oleks hiljem võimalik ka kasutusele võtta keerukamaid pöörlemise protokolle nagu näiteks rootori aksiaalne edasi-tagasi liigutamine ja kiiruse või pöörlemistelje modulatsioon.