

SIMULATION OF MAGNETIC REZONANCE PHENOMENON

Miroslav Pergl

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xpergl00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Aleš Drastich

E-mail: drastich@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

The teaching program MRI solves Bloch's equation to show nuclear magnetic resonance phenomenon. The program use timing and vectors presentation. In timing presentation is possible to see excitation sequence, free induction decay signal and $M_{x,y,z}$ component of magnetization vector. In vectors presentation could see magnetization vector in rotating and stationary frame. The program works on Matlab 7.1 platform.

1. ÚVOD

Zobrazovací systémy magnetické rezonance jsou v současné době používány především v lékařství k získávání tomografického obrazu těla pacienta. Zobrazování magnetickou rezonancí využívá fyzikálního jevu zvaného nukleární magnetická rezonance.

Výukový program MRI řeší Blochovu rovnici, viz rovnice 1 až 4. Slouží tak k modelování jevu magnetické rezonance za pomoci prezentace nejdůležitějších složek signálu v časové oblasti a odpovídající vektorové prezentace ve stacionární a rotační souřadné soustavě. Ve své práci jsem se zaměřil zejména na modelování Spin echo budící sekvence (SE), viz odstavec 2.4. Program tvoří 40 souborů typu m-file, spuštěných v programu Matlab 7.1. Původní program MRI vzniknul v rámci diplomové práce [2] v roce 1999.

2. ROZBOR

2.1. VÝUKOVÝ PROGRAM MRI

Aplikaci lze spustit z příkazové řádky prostředí Matlab, příkazem MRI. Vyvolá se tak hlavní obrazovka programu kde je uživateli nabídnuto řádkové menu s možnostmi:

- Vypočtené průběhy – prohlédnout si dříve vypočítané průběhy
- Specifikace experimentu – volit podmínky experimentu (B_0 , typ sekvence, její časování, T1, T2, počet opakování budící sekvence)
- Teorie – krátká rekapitulace teorie jevu magnetické rezonance
- Volby prezentace – vybrat si způsob prezentace z šesti nabízených možností (2D resp. 3D)
- Nápověda – nápověda k ovládání programu

- Konec – opustit program a vrátit se do pracovního prostředí Matlab

Základ programu tvoří řešení Blochovi rovnice pomocí vestavěné funkce ODE23 pro uživatelem zvolené časové intervaly simulace.

2.2. NUKLEÁRNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE

Matematickou formulaci jevu zvaného nukleární magnetická rezonance poprvé publikoval v roce 1946 Felix Bloch. Rovnice bývá nejčastěji prezentována v diferenciálním tvaru:

$$\frac{dM}{dt} = \gamma \mathbf{M} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

γ – gyromagnetický poměr [$\text{MHz} \cdot T^{-1}$].

B – velikost magnetické indukce obklopujícího prostředí.

M – vektor magnetizace, reprezentuje počet protonů vyskytujících se ve vybuzeném objemu.

$\mathbf{M} \times \mathbf{B}$ v rovnici (1) je vektorový součin vektoru magnetizace a magnetické indukce.

Program řeší Blochovu rovnici pro jednotlivé osy souřadného systému:

$$M_x = M_0 \left(\frac{t}{T_2} \right) \cdot \cos \omega t \quad (2), \quad M_y = M_0 \left(\frac{t}{T_2} \right) \cdot \sin \omega t \quad (3), \quad M_z = M_0 \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{T_1} \right)} \right) \quad (4),$$

Při experimentu je nutné aby zobrazovaná scéna ležela uvnitř homogenního magnetického pole B . K vybuzení rezonance jader atomů vykazujících spin dojde pomocí pulzní budící sekvence radiofrekvenčního signálu. Po ukončení budícího signálu se jádra vracejí do stavu termodynamické rovnováhy vlivem relaxace. Relaxace sestává z vzájemného působení magnetických polí jednotlivých atomů a ze ztráty fázové koherence elementárních dipólů. Je kvantována relaxačními časy T_1 a T_2 . Současně dochází k emisi elektromagnetického vlnění, která se označuje jako volně indukovaný signál (Free Induction Decay) – FID/echo signál. Další popis viz [1].

2.3. PULZNÍ BUDÍCÍ SEKVENCE

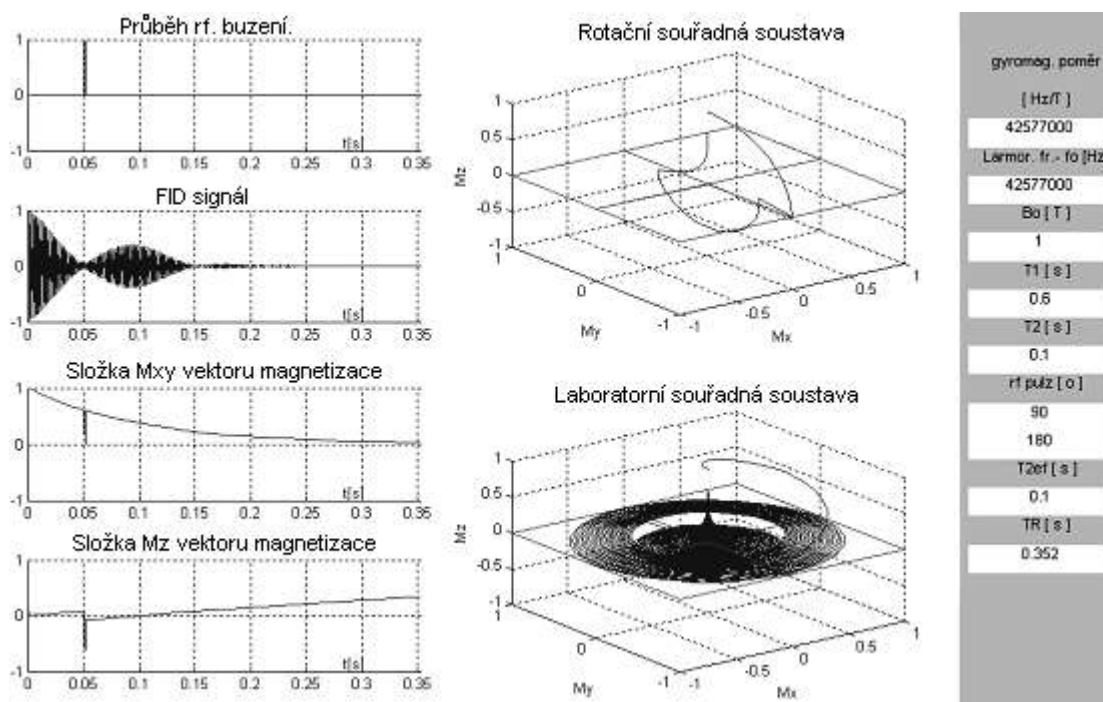
Zobrazovací systémy magnetické rezonance používají řadu budících sekvencí, tvořených jednotlivými radiofrekvenčními impulzy. Volbou jejich skladby lze ve výsledném obrazu zdůraznit různé parametry – váhování obrazu (T_1 , T_2 , N). V programu jsou používány následující základní sekvence:

- SR (Saturation Recover) metoda - Používá 90° impulz, který překlápí vektor magnetizace do roviny xy .
- 180° impulz – impulz pouze převrátí vektor magnetizace o 180° bez generování echo signálu. Samostatně aplikovaný nemá využitelný význam.
- IR (Inversion Recover) metoda – Je složená z kombinace ($180^\circ + 90^\circ$) impulzů. Oproti SR metodě lze získat až dvojnásobný kontrast obrazu.
- SE (Spin Echo) metoda – Je dána kombinací ($90^\circ + 180^\circ$) impulzů.

2.4. SPIN ECHO METODA

Po aplikaci prvního 90° radiofrekvenčního impulzu dojde k překlopení vektoru magnetizace M do roviny xy . Vlivem relaxace T_2 dochází k částečnému návratu vybuzených jader do stavu termodynamické rovnováhy – jejich rozfázování. Poté je aplikován fokuzální 180° impulz, který překlopí elementární dipóly kolem osy x o 180° . Dojde tak k jejich opětovnému sfázování a vzniku FID/echo signálu. Další popis SE metody lze nalézt např. [3].

Grafickou prezentaci průběhu jednotlivých veličin během SE budící sekvence lze vidět na obrázku 1.



Obrázek 1: Průběh SE budící sekvence s parametry experimentu.

3. ZÁVĚR

Výukový program MRI je koncipován tak aby poskytoval základní přehled o fyzikálních dějích které se vyskytují při jevu magnetické rezonance. Uživateli je nabídnuto zobrazení parametrů používaných při výkladu (průběh buzení, FID signál, složky $M_{x,y,z}$ vektoru magnetizace) a 2D resp. 3D prezentace jevů spojených s vlivy volby podmínek experimentu. Při volbě jednotlivých parametrů experimentů je u uživatele předpokládána orientace v základech dané problematiky.

LITERATURA

- [1] Drastich, A.: Tomografické zobrazovací systémy, Skriptum, VUT FEKT UBMI, Brno, 2004
- [2] Kolek, J.: Modelování jevu magnetické rezonance, diplomová práce, Brno, 1999
- [3] Zobrazování pomocí MRI, Výzkumná skupina při LF MU v Brně, dokument dostupný na URL http://fmri.mchmi.com/main_index.php?strana=14 (březen 2007)