



Obvodové modely indukčnostního teslametru

Michal Vlk

Geomagnetická observatoř GFÚ AVČR, Budkov 38, 38422 Vlachovo Březí

vlk@ig.cas.cz

Abstract Development of solid-state magnetometers was accelerated by space research in late 1970-ies. Instruments developed in this time was competitive to older mechanical instruments with wire suspended magnet developed since times of Gauss. These instruments are used today as registering instruments for geomagnetic survey. One of the method to improve noise background of these instrument is to use active damping known and used in electroacoustic applications (microphone, phonograph and tape preamplifiers) since 1930-ies.

1 ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE

Měření zemského magnetického pole má některé aplikace v navigaci a meteorologii. Pozorování geomagnetického pole má na našem území tradici již do roku 1830 [1], kdy Karl Kreil začal se systematickým pozorováním v pražském Klementinu. Ojedinelé jevy (magnetické bouře) mohou snížit spolehlivost komunikačních zařízení (telefonů a satelitů) a spekuluje se i např. o dopadech na rozvody silové elektřiny. Tyto jevy jsou vyhodnocovány i předpovídány a jsou zahrnuty do světových i národních varovných systémů (podobně jako zemětřesení). Nejstarší přístroje pro měření směru vektoru magnetického pole s hroty uložením (kompas a deklinatorium) jsou známy od starověku a středověku. Následovaly přístroje s vláknovým závěsem, které umožňovaly stanovit i velikost pole (Gauss) a které, časem zdokonaleny do podoby monolitických přístrojů ztaveného křemene, jsou používány dodnes. Od třicátých let dvacátého století se začínají prosazovat dva typy přístrojů, založených na elektronickém principu a pracujících na akustických kmitočtech. Jsou to protonový magnetometr a fluxgate magnetometr (správně utvořený český termín indukčnostní teslametr jsem zahlédl pouze na projektové dokumentaci z roku 1965, takže se zjevně neujal, další termín – teslametr s feromagnetickou sondou – je nesprávně utvořen, neboť podmínkou funkce je nelinearita použitého materiálu, který nemusí být nutně feromagnetický). Tím druhým přístrojem se budu hlouběji zabývat.

2 FLUXGATE – SONDA A BUZENÍ

Jedna z rozšířených konstrukcí sondy – sonda s toroidním jádrem, je na Obr. 1a. Sonda sestává z toroidního jádra na kterém je navinuto budicí (pumpovací) vinutí. Druhé vinutí – snímací – je navinuto jako solenoid mající toroid jako své jádro. Pokud je zařízení dobře konstruováno, je vazba mezi snímacím a budícím vinutím pouze díky nelineárním vlastnostem materiálu toroidu. Pumpovací obvod pracuje u špičkových přístrojů výhradně ve ferorezonančním modu hned z několika důvodů: jednak je jeho zapojení jednoduché, málo citlivé na změnu pumpovacího proudu zdroje, ale hlavně nedovoluje poškodit jádro magnetometru v případě jakékoliv poruchy elektroniky. Vyrobit kvalitní sondu není jednoduché (používají se slitiny FeNi se speciálním tepelným a magnetickým zpracováním např. v jaderném reaktoru) a její cena násobně překračuje cenu elektroniky magnetometru. Pro simulaci obvodu je výhodné použít obvod složený přímo ze součástek prostředí SPICE, tedy kondenzátorů, odporů, diod a řízených zdrojů (Obr. 1c).

Ukázka simulace obvodu (konkrétně proud modelovanou nelineární indukčností) je na obrázku 1b.

3 FLUXGATE – SNÍMACÍ OBVOD

Náhradní obvod snímacího obvodu je možné koncipovat obdobně, jen nelinearitu je zapotřebí pojmout jako dvojbran. Byl zvolen antiparalelní kruhový modulátor, jehož vlastnosti zohledňují symetrii magnetizační charakteristiky feromagnetických materiálů. Obvod umožňuje simulovat oba význačné mody práce magnetometru – tedy oblast parametrické rezonance i oblast lineární modulace [2] (obr. 1d).

První mod(us) se málo používá [3] a může vzniknout v magnetometru s dostatečně kvalitním rezonančním obvodem ve snímacím obvodu jako důsledek jeho nízkého zatlumení a je funkcí analogický k superreakčnímu přijímači. Vyhodnocovanou veličinou je fáze parametrické rezonance vzhledem k fázi buzení, která je indikátorem směru stejnosměrného proudu / pole magnetometru v počátku náběhu parametrické rezonance. Příklad simulace parametrické rezonance (časový průběh napětí na C1) je na fig. 2a, 3a a 3b.

V případě přidání odporu vhodné velikosti (Obr. 2c) do rezonančního obvodu přejde systém do modu lineárního modulátoru. Výstupní napětí na některé (podle symetrie buzení sudé či liché) harmonické je modulováno amplitudově obálkou magnetického pole (Obr. 2b). V praktických aplikacích se tato obálka udržuje v blízkosti nuly pomocným kompenzačním proudem, což zvyšuje dynamický rozsah přístroje.

Přidání rezistoru však vnáší do obvodu další šum. Jedno z řešení je realizovat rezistor jako syntetickou součástku (Obr. 2d), například jako integrační

zesilovač přemostěný malou kapacitou. Tomuto řešení se někdy říká aktivní tlumení, nebo bezšumové zakončení. I v takovém případě bude režim práce lineární modulátor.

4 AKTIVNÍ TLUMENÍ – DALŠÍ APLIKACE

Integrační zesilovače se vyskytovaly v elektroakustice [4] jako korekční zesilovače pro rychlostní gramofonovou přenosku (přenosku s proměnnou reluktancí – někdy nazývanou magnetodynamickou). Autor navrhl zapojení snímacího zesilovače, ve kterém paralelní RIAA korektor plní i druhou funkci integrátoru a zvětšená Millerova kapacita tranzistoru plní funkci tlumení elektrické strany přenosky (Obr. 3c).

Pracovní bod zesilovače je stabilizovaný dynamickou zátěží a vstupní stejnosměrný obvod tvoří jen vinutí přenosky. V případě větších nároků na rozsah provozních teplot je možné teplotu vstupního tranzistoru stabilizovat např. Peltiérovou baterií, což se často provádí u studiových kondenzátorových mikrofonů. Podobně lze realizovat zesilovač pro magnetický záznam, kde lze s výhodou použít operační zesilovač jako druhý stupeň (Obr. 3d).

V obvodech běžných magnetometrů (pumpovací kmitočty v řádu desítek kHz) vyhovuje pro realizaci aktivního tlumení ještě samotná velikost Millerovy kapacity tranzistoru, takže lze použít stupeň se společným sourcem. V obvodech s větším kmitočtem, jako byly zesilovače snímacích elektronek v televizních kamerách (takzvané zapojení s Percivalovou cívkou), nebo v předzesilovači vysokofrekvenčního kondenzátorového mikrofonu, je Millerova kapacita jedno-tranzistorového stupně již příliš velká a musíme použít kaskádové zapojení.

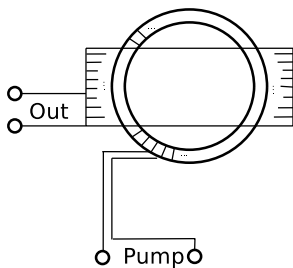
5 ZÁVĚR

V příspěvku byl předložen obvodový model magnetometru, který umožňuje modelovat oba význačné módy činnosti prostřednictvím běžně dostupného software. Lze předpokládat, že tento model urychlí vývoj nových přístrojů.

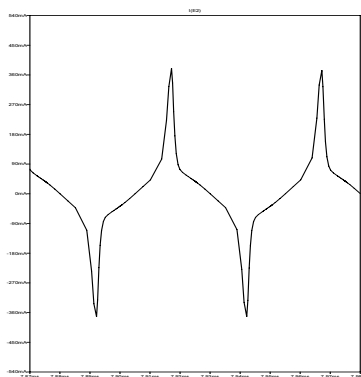
REFERENCE

- [1] Štreščík, J.: Historie magnetických měření v Čechách a dlouhodobé změny složek geomagnetického pole *Sborník ČBKKS*, 67–72, Úpice, 2009.
- [2] Player, P.A.: Parametric amplification in fluxgate sensors *Journal of Physics D*., 21(10), 1473–1480, 1988.
- [3] Baltag, O.: Double Pumping Fluxgate Magnetometer *Sensor Letters*, 11(4), 149–152, 2013.
- [4] Kornouchov, P.V.: *Korekturujuščije cjepej usilitjelnej zvukovoj častoty*, Technika, Kijev, 1965.

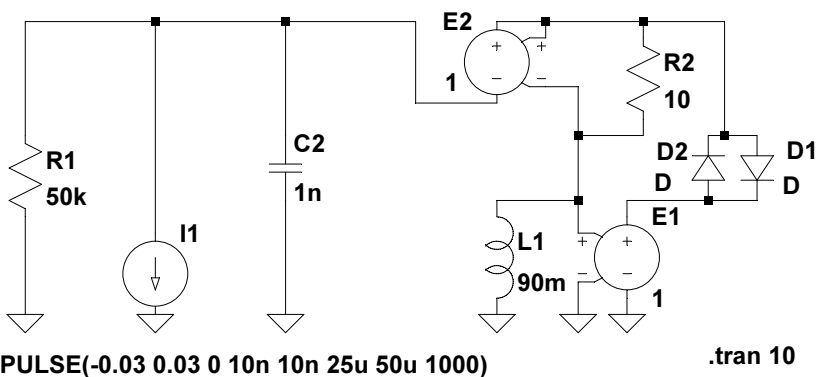
a)



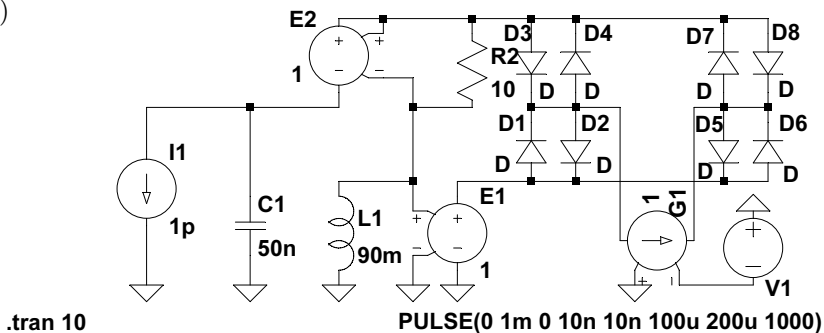
b)



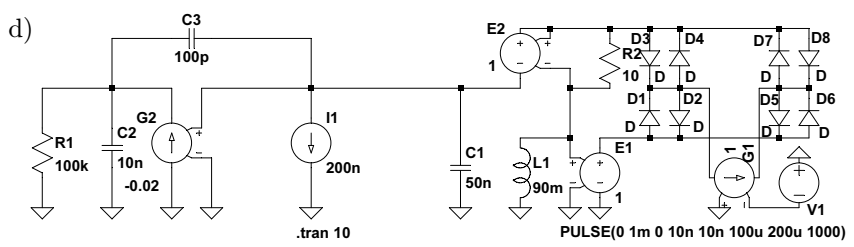
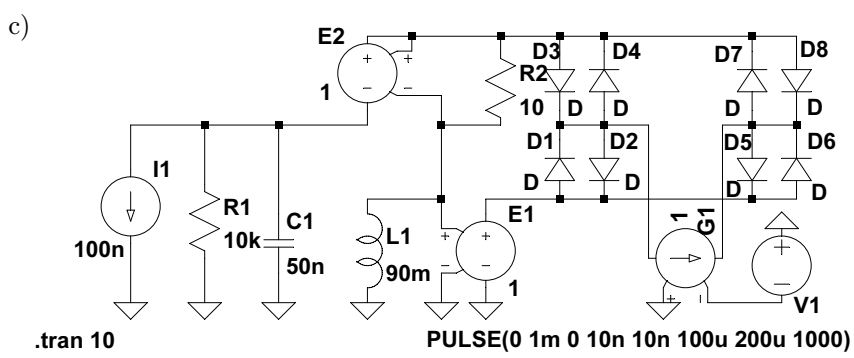
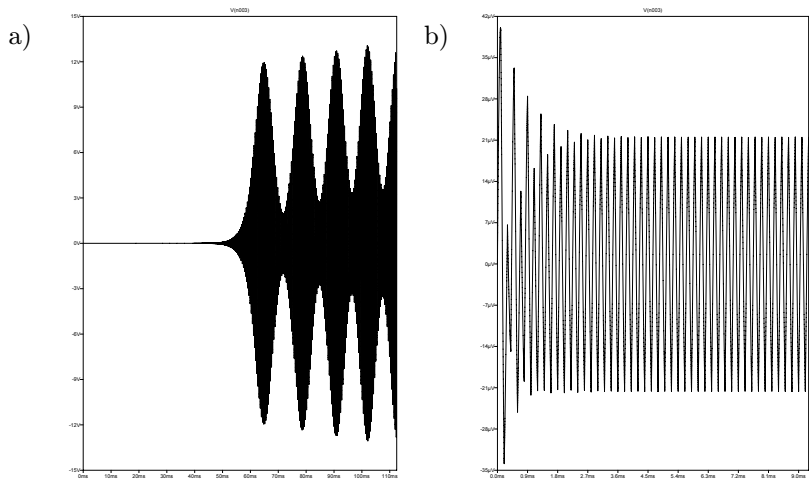
c)



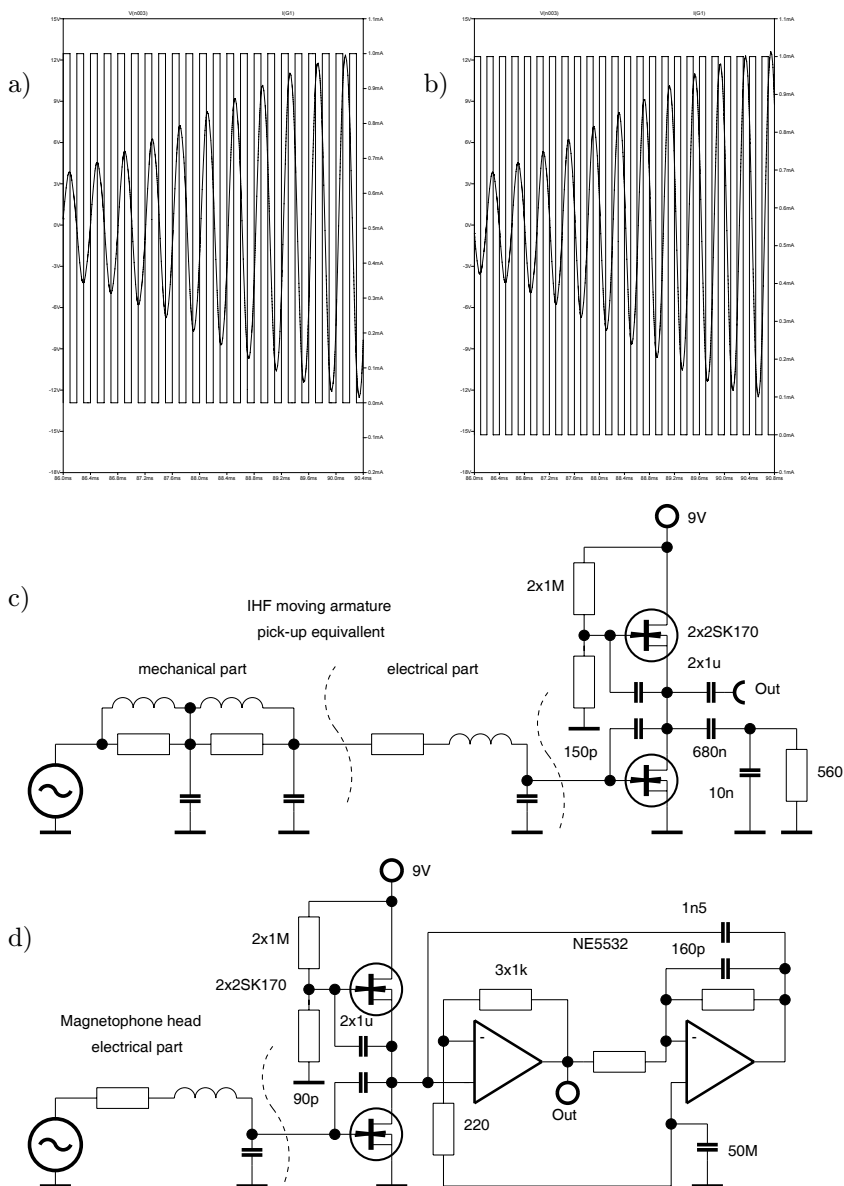
d)



Obrázek 1: (a) Sonda magnetometru, (b) proud budícím obvodem, (c) budící obvod, (d) snímací obvod bez tlumení



Obrázek 2: (a) Napětí výstupního obvodu – oblast parametrické rezonance, (b) napětí výstupního obvodu – oblast lineární modulace, (c) snímací obvod s odporovým tlumením, (d) snímací obvod se syntetickým tlumením



Obrázek 3: (a) Detail parametrické rezonance – kladný bias, (b) detail parametrické rezonance – záporný bias, (c) přenosový předzesilovač, (d) magnetopáskový předzesilovač