

Трансимпедансен усилвател за снемане на биомедицински сигнали по капацитивен път с регулируем коефициент на преобразуване

Иво И. Чучулски, Серафим Д. Табаков

Факултет Електронна Техника и Технологии, Технически Университет – София

Бул. „Климент Охридски“ №8, 1000, София, България

{email: misterdj6405@gmail.com, sdt@tu-sofia.bg}

Абстракт: Използването на капацитивни електроди за снемане на биомедицински сигнали добива все по-голяма популярност. Това се дължи както на намаления дискомфорт за пациента, така и на възможността им лесно да бъдат интегрирани в облеклото.

Един от проблемите възникващи при използването им е непостоянния капацитет електрод – тяло, дължащ се на движенията на пациента, различна дебелина на белъто и др. Като следствие от това е възможна промяна на амплитудата на получения сигнал.

Цел на настоящата работа беше разработка и тестване на схема на трансимпедансен усилвател с регулируемо по електронен път усилване. По този начин би могло да се премахне или поне намали в някаква степен този недостатък на схемите за снемане на биомедицински сигнали с капацитивни електроди.

Избрана е схема на трансимпедансен усилвател, при която коефициентът на усилване (преобразуване) зависи единствено от отношението между електродния капацитет и капацитета на кондензатора в обратната връзка [1]. За регулиране се използва промяната на бариерния капацитет на диод, включен в обратната връзка на усилвателя като вариакп.

Поради факта, че предлаганите на пазара вариакпи са с нисък капацитет - от порядъка на няколко десетки, до 100 пикофарада – , а електродите могат да образуват каапцитет с тялото на пациента до

няколко стотин пикофарада, е направено изследване на възможността вместо тях да се използват ценерови диоди, трансили или мощни шотки диоди.

Направените изследвания показаха, че бариерният им капацитет може да достигне до един нанофарад и се променя в достатъчно широки граници, за да може те да бъдат използвани за поставената цел.

Направените екперименти с така получената схема на трансимпедансен усилвател с регулируем коефициент на преобразуване доказаха работоспособността на подобно решение. Това дава възможност за използването ѝ при разработка на апарати за снемане на биопотенциали с помощта на капацитивни електроди, с намалена зависимост на нивото на сигнала от промяната на капацитета между електрода и тялото. Схемата би могла да се използва и в други области, където е необходимо подобно регулиране на коефициента на преобразуване на трансимпедансен усилвател.

Ключови думи: капацитивни електроди, биомедицински сигнали, ЕКГ, трансимпедансен усилвател, автоматично регулиране на усилването

I. УВОД

Снемането на витални параметри по капацитивен път обикновено се извършва по два начина – директно измерване на капацитет между електродите, примерно в

Трета младежка научна сесия “Биомедицина и качество на живот”

случаите на следене на дишане или друга физическа активност или чрез снемане на биоелектрически сигнали от тялото, например ЕКГ. Във втория случай, поради ниската честота на повечето биосигнали и ниската им амплитуда се поставят специални изисквания към входните стъпала на усилвателите.

В литературата са разгледани различни схемни и конструктивни решения за снемане на ЕКГ по капацитивен път [1, 2, 3, 4]. Авторите разглеждат влиянието на физичните параметри на електродите и конструктивното им изпълнение върху нивото и качеството на сигнала, и честотната лента на системата електрод – усилвател. В [5] е предложена схема с използването на трансимпедансен усилвател, намаляваща до голяма степен изискванията за използване във входните стъпала на резистори с много високо съпротивление – над $1\text{G}\Omega$.

Независимо от последното обаче, използването на капацитивни електроди, особено когато пациентът е в движение, води до голяма неопределеност на получения между тялото и електрода капацитет, а от там и до промяна на амплитудата на сигнала, и честотната лента на пропускане на входната верига.

В настоящата статия се разглежда метод за намаляване в известна степен на това влияние, чрез използване на управляван по електронен път кондензатор (варикап).

II. Метод и решение

За основа на схемното решение е взета схемата на трансимпедансния усилвател от [5] – Fig. 1.

Усилвателят се характеризира със следните зависимости за коефициент на преобразуване/усилване на входния сигнал:

$$\frac{U_o}{U_i} \sim \frac{C_i}{C_f} \quad (1)$$

и честота на срез:

$$f = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (2)$$

където: $\tau = R_{eq}C_f$

От горните два израза става ясно, че минималната честота на пропускане зависи от капацитета на електрода спрямо тялото и еквивалентното входно съпротивление на трансимпедансния усилвател, а коефициентът на преобразуване – само от отношението на електродния капацитет C_i и капацитета в обратната връзка на усилвателя C_f .

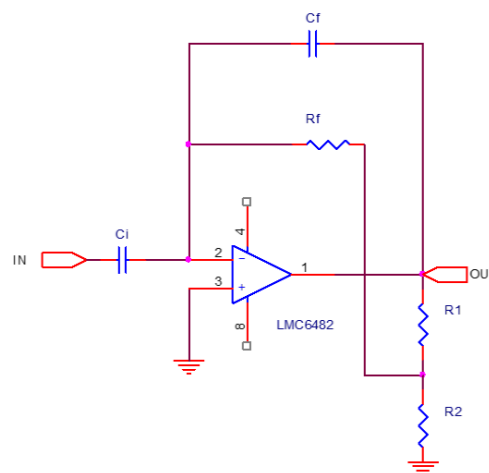


Fig. 1

При движението на пациента електродния капацитет може да се изменя в доста широки граници – от няколко десетки до няколко стотин пикофарада. Ако влиянието на това изменение върху честотната лента може да бъде компенсирано сравнително лесно – чрез увеличаване на еквивалентното входно съпротивление на схемата, то въпросът с компенсацията на промяната на коефициента на преобразуване не може да бъде решен по друг начин освен с електронно управление на капацитета на кондензатора в обратната връзка.

Трета младежка научна сесия “Биомедицина и качество на живот”

Предложеното на fig.2. схемно решение използва управляем кондензатор в обратната връзка, като за целта се използва бариерния кондензатор на обратно включен диод.

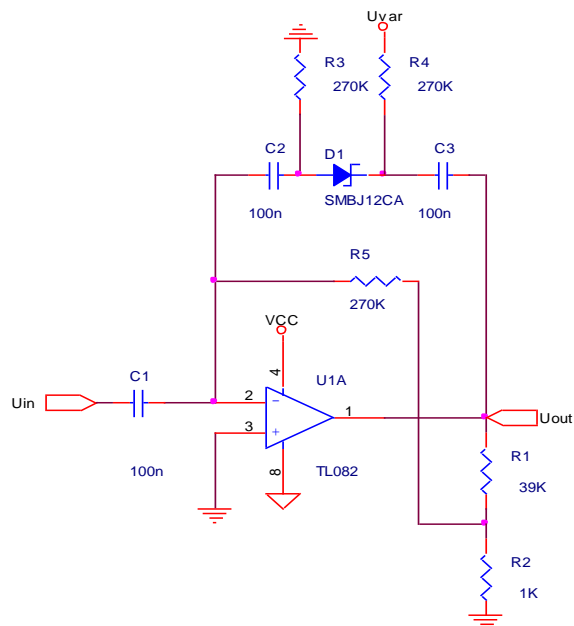


Fig. 2

Управляващото напрежение се подава през високоомните резистори $R3$ и $R4$, а кондензаторите $C2$ и $C3$ не допускат влиянието му на постояннотоковия режим на схемата.

Широкият диапазон на промяна на входния кондензатор изисква използването на управляем кондензатор с доста високи стойности на същия – до няколко стотин пикофарада. Тъй като варикапи с подобни номинали реално не се предлагат, в работата е разгледана и изследвана възможността за използване на няколко вида диоди – шотки, ценови и супресорни – в ролята на варикапи.

III. Експериментални резултати

На fig. 3 са показани експериментално снети данни за бариерния кондензатор в пикофаради, на 4 вида диода в зависимост от подаденото върху тях обратно напрежение.

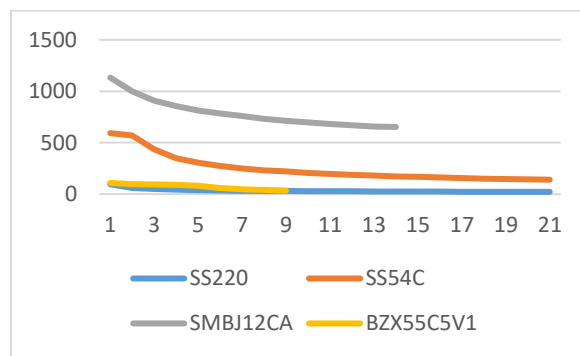


Fig. 3

И четирите типа показват диапазон на промяна на кондензатора от порядъка на 3 до 5 пъти и кондензатор при липса на подадено обратно напрежение от стотици пикофарада до и над един нанофарад.

На Fig. 4 е показана промяната на изходното напрежение на сигнала на схемата, с показаните на Fig.2 номинали, при входен сигнал с амплитуда 10mV и честота 1Hz, и промяна на управляващото напрежение върху диода в обратната връзка от 0V до 7V.

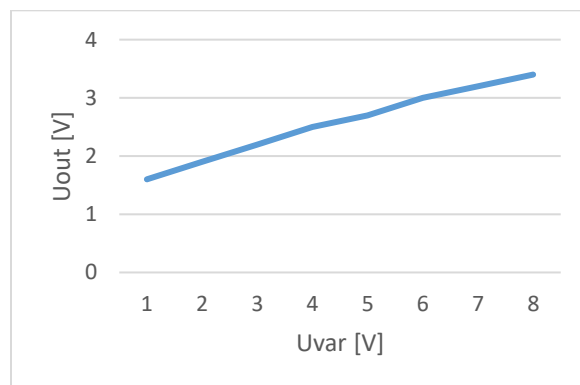
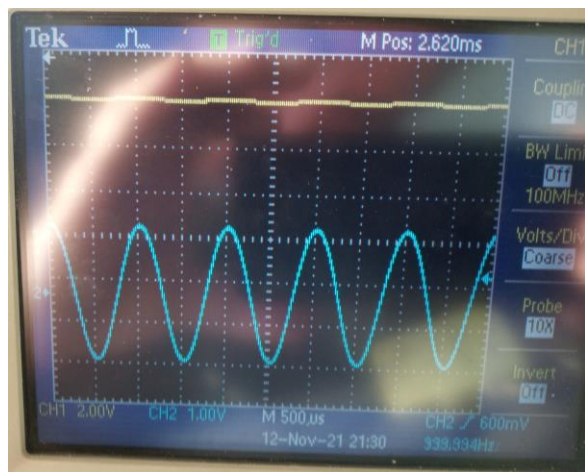


Fig. 4

Тъй като схемата пропуска сигнали с честоти над честотата на срез, то тя е

Трета младежка научна сесия “Биомедицина и качество на живот”

подходяща за използване и в системи за мониториране на пейсмейкърни импулси. На Fig. 5 е показана осцилограма на изхода на схемата (канал 2 на осцилоскопа) при входен сигнал с амплитуда 10mV и честота 1KHz, при подадено на супресора SMBJ12CA управляващо напрежение с амплитуда 6V (канал 1 на осцилоскопа).



Фиг. 5

IV. Заключение

Предложеното решение дава възможност за сравнително лесно управление на кофициента на предаване на схема за усилване на биоелектрически сигнали снемани с капацитивни електроди. В зависимост от типа и номиналте на използваните компоненти може да се постигне промяна на този коефициент до няколко пъти, което да позволи поддържане на достатъчно ниво на сигнала вследствие промяна на активната площ на електрода или отстоянието му от тялото в определени граници. Схемата може да бъде използвана и за усилване на сигнали с високочестотни съставки в спектъра, като например пейсмейкърни импулси. Подобно решение с регулируем коефициент на предаване може да бъде използвано не само при снемане на биопотенциали, но и в други области

където се употребява капацитивно снемане на сигнал.

Работата е извършена благодарение на договор № ДН17/19 ФНИ и договор № 212ПД0015-03 ТУ-София

V. Литература

1. Yang Gao, Varun V. Soman, Jack P. Lombardi, Pravakar P. Rajbhandari, Tara P. Dhakal, Dale Wilson, Mark, “Heart Rate Monitoring Using Flexible Capacitive ECG Electrodes”, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 67, NO. 9, 2020.
2. Atallah L., A Serteyn, M Meftah, M Schellekens, R Vullings, J W M Bergmans, A Osagiator and S Bambang Octomo, “Unobtrusive ECG monitoring in the NICU using a capacitive sensing array”, *Physiol. Meas.* **35** (2014) 895–913, 2014
3. Seung Min Lee, Kyo Sik Sim, Ko Keun Kim, Yong Gyu Lim, Kwang Suk Park, “Thin and flexible active electrodes with shield for capacitive electrocardiogram measurement”, *Med Biol Eng Comput*, 48:447–457, 2010
4. Hong Ji Lee, Su Hwan Hwang, Hee Nam Yoon, Won Kyu Lee and Kwang Suk Park, “Heart Rate Variability Monitoring during Sleep Based on Capacitively Coupled Textile Electrodes on a Bed”, *Sensors*, **15**, 11295-11311; doi:10.3390/s150511295, 2015.
5. Iliev I., Tabakov S., “An Analogue Front-end for Paced ECG Registration by Capacitive Electrodes”, XXX International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, DOI: 10.1109/ET52713.2021.9579876, 2021