



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА МАТЕМАТИКУ И
ИНФОРМАТИКУ



Томсонов ефекат

семинарски рад

професор:
Светлана Р. Лукић

студент:
Драгиња Прокић287/06

Нови Сад, 2010.

1 Термоелектричне појаве

Волта је 1791. - 1792. године открио да се на месту додира два различита метала јавља потенцијална разлика, односно електро – моторне силе, чија величина и смер зависе од тога који су метали у додиру. Волта је измерио ову електро – моторну силу (емс) за метале. Међутим, касније је установљено да емс која се јавља на месту додира два метала, не зависи само од врсте метала већ и од температуре и од стања површина које се додирују, и то:

- да ли су оне храпаве или углачане;
- да ли су покривене слојем оксида или неких других страних примеса, укључујући и влажност;
- да ли има адсорбованих гасова у металима итд.

Када се одстрани ови чиниоци, за емс спојева на обичним температурама добијају се знатно ниже вредности од оних које је одредио Волта.

Настајања емс додира објашњава се на овај начин: Иако су метали на истим температурама, енергетска стања њихових електрона су различита. Када се два метала споје, настаје прелажење електрона из метала у коме је енергија електрона већа у метал где је њихова енергија мања. При томе, метал у који прелазе електрони постаје негативно наелектрисан, а потенцијална енергија електрона који су прешли се повећава. Прелажење електрона из метала у метал врши се дотле док се укупне енергије (суме потенцијалних и кинетичких енергија) електрона у металима не изједначе. Потенцијална разлика која тада настане на површини додира, односно емс споја, зависи од броја електрона који су прешли из једног метала у други.

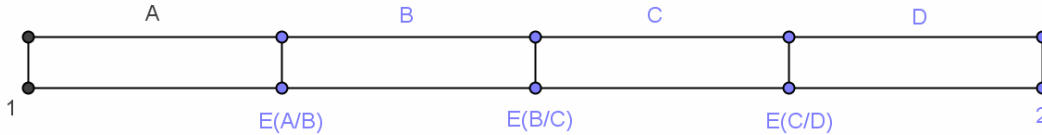
Да ли ће неки метал у додиру са другим бити наелектрисан позитивно или негативно, зависи, дакле, да ли његови електрони имају већу или мању енергију од електрона у суседном металу. Отуда, ако неки метал доводимо у спој са различитим металима, у појединим случајевима он може бити позитивно или негативно наелектрисан. Тако је бакар негативно наелектрисан када је у споју са цинком, а позитивно наелектрисан ако је у споју са сребром.

Узмимо сада хетерогени низ састављен од неколико метала A , B , C и D у споју (слика *). На сваком споју постоји емс споја. Означимо са $E(A/B)$ емс споја метала A и B , коју ћемо рачунати у смеру од A ка B . На сличан начин су означене и емс на спојевима других метала. Ова емс могу бити и позитивне и негативне, што зависи од знака наелектрисања појединих метала.

Услед емс споја, између десног и левог краја низа постоји напон U_{21} који је једнака алгебарској суми ових емс:

$$U_{21} = E(A/B) + E(B/C) + E(C/D).$$

Могло би се сада помислити да ће, у случају да спојимо крајеве низа, овај напон створити струју у тако образованом колу. Међутим, то се не може десити, јер би са настанком струје имали електрични рад у колу, без улагања другог рада или енергије.



слика (*)

При спајању крајева низа образујемо нови спој метала D и A , те се јавља још једна емс споја $E(D/A)$. У складу са законом о одржању рада и енергије мора бити:

$$E(A/B) + E(B/C) + E(C/D) + E(D/A) = 0.$$

Ову једначину можемо написати и овако:

$$E(A/B) + E(B/C) + E(C/D) = -E(D/A)$$

или, како је $-E(D/A) = E(A/D)$,

$$E(A/B) + E(B/C) + E(C/D) = E(D/A).$$

Овај израз нам показује да је напон на крајевима низа исти као да су метали који се налазе на крајевима низа директно спојени. То је израз тзв. **закон међуметала**, који гласи: напон на крајевима хетерогеног низа зависи од тога који се метали налазе на крајевима низа, а не зависи од тога колики и који метали се налазе између њих.

Закон међуметала важи само ако су све тачке хетерогеног низа на истој температури и ако се у саставу низа не налази неки електролит. У последњем случају имали бисмо низу електохемијски генератор, који би радио на рачун хемијске енергије. Исто тако, да би поједине тачке низа биле на различитим температурама, морала би се вршити измена топлотне енергије између низа и околине, што би створило услове за настајање електричног рада у затвореном хетерогеном низу. У оба случаја не важи $E(A/B) + E(B/C) + E(C/D) + E(D/A) = 0$.

Ефекти везани за истовремено деловање електричног поља и градијената температуре у неком материјалу називају се **термоелектричне појаве**. У њих се убрајају:

- термоелектрични – Зебеков (Th. J. Seebeck) ефекат

- електротермички – Пелтијеов (J. C. Peltier) ефекат
- електротермички – Томсонов (W. Thomson) ефекат

Овај ефекат се може користити за генерисање електричне енергије, за мерење температуре, хлађење или грејање. Будући да правац грејања и хлађења одређује знак напона. Термоелектрични уређаји чине веома zgodног температурног контролера.

2 Електротермички – Томсонов ефекат

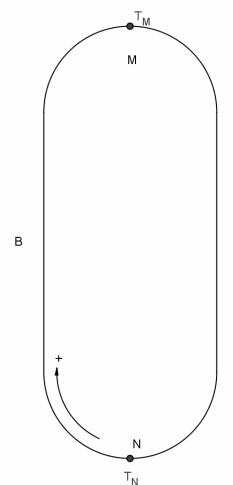
Електрични ефекат који се јавља унутар једног материјала назива се **Томсонов ефекат**. Наиме, Томсон је установио да се два комада од истог, хомогеног метала, када су на различитим температурама, понашају као да су од различитих метала; а ако се споје на површини додира се јавља емс споја. Ово је потпуно разумљиво, јер услед разлике у температурама, долази до појаву разлике у концентрацији носилаца наелектрисања, те и њихово дифузно кретање, тј. прелаз електрона из једног комада у други и настајење емс споја. Услед поремећења електронеутралност се нарушава и јавља се електрично поље унутар материјала.

Исто тако, када се дуж комада хомогеног метала мења температура, електрони ће на појединим местима метала бити у различитим енергетским стањима, што ће условити дифузију електрона дуж метала. Услед тога, јавиће се у металу нека емс која је расподељена дуж метала. Ако се између два блиска попречна пресека метала постоји температурна разлика dT , онда у слоју метала између та два пресека постоји емс, дата изразом:

$$dE = \sigma dT.$$

Коефицијент σ , који зависи од врсте метала, Томсон је назвао специфичним топлотним електрицитетом, а данас се најчешће зове **коефицијент Томсонове појаве** или само Томсонов коефицијент. За поједине материјале коефицијент σ је директно сразмеран апсолутној температури: $\sigma = kT$ (Теов закон) и за неке од њих је позитиван, а за неке негативан. Сем тога, он зависи од механичких деформација и од обраде метала, нарочито од каљења. Услед различите обраде, примерци од истог метала могу се различито понашати. За олово коефицијент σ је занемарљиво мали.

Нека је термоспрег састављен од метала A и B (слика 1.) чији су коефицијенти Томсонових појава σ_A и σ_B и нека



слика 1.

су температуре спојева T_N и T_M . Да би смо одредили емс термоспреге:

$$E(A/B)_{T_N}^{T_M},$$

извршићемо обилазак спреге у позитивном смеру, почев од споја N , и сабрати све емс на том путу:

$$E(A/B)_{T_N}^{T_M} = E(A/B)_{T_N} + \int_{T_N}^{T_M} \sigma_B dT + E(B/A)_{T_M} + \int_{T_M}^{T_N} \sigma_A dT,$$

$$E(A/B)_{T_N}^{T_M} = E(A/B)_{T_N} + E(B/A)_{T_M} + \int_{T_M}^{T_N} (\sigma_B - \sigma_A) dT$$

или:

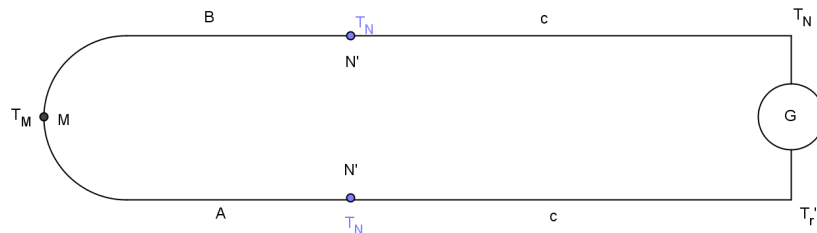
$$E(A/B)_{T_N}^{T_M} = E(A/B)_{T_N} - E(A/B)_{T_M} + \int_{T_M}^{T_N} (\sigma_B - \sigma_A) dT.$$

Томсонова појава је реверзибилан. Када се успостави струја у проводнику чије су поједине тачке на различитим температурама, те услед тога дуж проводника постоји расподела потенцијала, проводник ће се хладити ако струја има смер у којем потенцијал расте, а загревати ако струја има супротан смер. При томе треба имати у виду да у металима са позитивним коефицијентом Томсонове појаве потенцијал расте у смеру пораста температуре, док у металима са негативним коефицијентом потенцијал опада у смеру пораста температуре.

Закон међуметала може се применити и у колима са термоспрегом. У споју N термоспрега (слика 1.), који је на температури T_N , постоји емс споја:

$$E(A/B)_{T_N}.$$

Раздвојимо проводнике A и B , и проводницима од метала C привезимо



слика 2.

у коло галванометар G (слика 2.). Ако су све тачке проводника C на температури T_N , по закону међуметала је:

$$E(A/B)_{T_N} = E(A/C)_{T_N} + E(C/B)_{T_N}.$$

Дакле, уношење проводника од трећег метала C , чије су све тачке на истој температури, не изазива никакве промене у колу, те се може вршити, а може се привезати и више проводника од различитих метала, ако су им температуре исте.

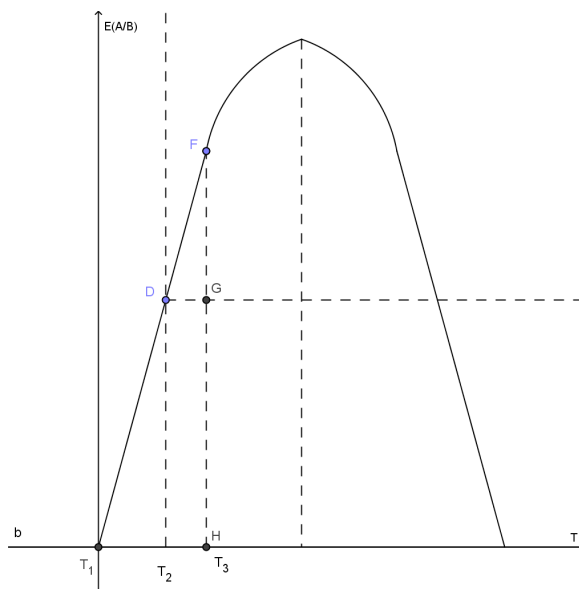
Последњу једначину можемо написати и овако:

$$E(A/B)_T = E(A/C)_T + E(B/C)_T$$

и извести овај закључак: ако познајемо, на некој температури T , емс спојева метала A и B појединачно са истим металом C , можемо израчунати и емс спој метала A и B на истој температури T .

Емс спојева се одређују експерименталним путем. Да не бисмо вршили мерење емс сваког метала са свим осталима, можемо одредити само емс свих метала према једном, било којем. Из тих података, помоћу последње једначине, можемо израчунати и емс споја оних метала који нас интересују.

Закон међутемпература. Пошто између емс термоспрега и струје у колу постоји однос $E = Ri$, где је R укупна отпорност кола, крива на слици 3. представља у другој размери, и промене емс термоспреге. Само, при одређивању промена струје треба водити рачуна да не дође до промене укупне отпорности кола услед загревања проводника. То се постиже на тај начин што се, уметањем отпорника у колу, учини укупна отпорност довољно великом, тако да се мале промене отпорности услед загревања могу занемарити.



слика 3.

састављеног од метала A и B , с тим што је за сталну температуру једног споја узета T_1 . Тачка D на кривој одговара емс:

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2}$$

а тачка F , емс:

$$E(A/B)_{T_1}^{T_3}$$

Да смо за сталну температуру једног споја узели T_2 , почетак криве би био у тачки D , а остатак криве би остао исти. Тада би тачка F одговарала емс:

$$E(A/B)_{T_2}^{T_3}$$

Како је $\overline{HF} = \overline{HG} + \overline{GF}$, то је:

$$E(A/B)_{T_1}^{T_3} = E(A/B)_{T_1}^{T_2} + E(A/B)_{T_2}^{T_3}$$

Ово је израз закона међутемпература који нам омогућава да одредимо једну од три емс, када постајемо остале две.

Термоелектрична способност термоелемената. У досадашњем излагању смо за карактеристике термоспрега узимали емс спојева и Томсонових коефицијената метала који сачињавају термоспрег. Емс термоспрега, за температуре спојева T_N и T_M , дата је једначином

$$E(A/B)_{T_N}^{T_M} = E(A/B)_{T_N} + E(B/A)_{T_M} + \int_{T_M}^{T_N} (\sigma_B - \sigma_A) dT.$$

Међутим, како у извесном броју случајева крива промене емс има облик врло приближан параболи са вертикалном осом, емс термоспрега у функцији од температуре топлијег споја може се изразити једначином:

$$E(A/B)_{T_1}^T = aT + \frac{1}{2}bT^2,$$

при чему је $T_1 = const$.

За различите термоспрегове су параметри a и b различити, те могу послужити као карактеристике термоспрегова. Ови параметри могу бити и позитивни и негативни.

Узмимо извод последње једначине по T :

$$\frac{d}{dT} E(A/B)_{T_1}^T = a + bT = P_T(A/B).$$

Овај извод Томсон је назвао термоелектрична способност (моћ) термоспреге. Означимо га са $P_T(A/B)$. Термоелектрична способност представља, како се то обично каже, емс спрега за $1^\circ K$ температурне разлике спојева, на температури T , и то је важна карактеристика термоспрега.

Пошто је у неутралној тачки тангента на параболу паралелна са координатном осом T , термоелектрична способност спрега је на неутралној температури T_n једнака нули:

$$P_{T_n} = 0 = a + bT_n.$$

Овај израз нам даје везу између неутралне температуре T_n и параметара a и b .

Ако познајемо термоелектричну способност неког термоспрега $P_T(A/B) = a + bT$ у функцији од температуре T , односно параметре спрега a и b , емс термоспрега за температуре спојева T_1 и T_2 можемо одредити на овај начин:

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2} = \int_{T_1}^{T_2} P_T(A/B) dT = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT) dT$$

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2} = a(T_2 - T_1) + \frac{1}{2}b(T_2^2 - T_1^2) = (T_2 - T_1) \left[a + \frac{1}{2}b(T_1 + T_2) \right]$$

или када параметар a изразимо помоћу неутралне температуре T_n :

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2} = b(T_1 - T_2) \left[T_n - \frac{T_1 + T_2}{2} \right].$$

Последњи израз нам показује да је емс спрега једнака нули када се температура спојева подједнако разликује од неутралне температуре T_n . Исто тако се види, да повећање температуре T_2 топлијег споја преко неутралне температуре не доводи до повећања већ смањења емс.

Одређивање параметара a и b за термоспрегове врши се експерименталним путем. За спрег метала A и B измери се емс:

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2},$$

за температурне спојеве T_1 и T_2 и емс:

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2'},$$

за температурне спојеве T_1' и T_2' . Пошто ове две емс можемо изразити овако:

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2} = a(T_2 - T_1) + \frac{1}{2}b(T_2^2 - T_1^2)$$

$$E(A/B)_{T_1}^{T_2'} = a(T_2' - T_1') + \frac{1}{2}b(T_2'^2 - T_1'^2),$$

добијамо две једначине, у којима су нам непознати параметри a и b .

Закон међуметала важи не само за емс спојева, већ и за емс термоспрегова, те се може написати:

$$E(A/B)_{T_1}^T = E(A/C)_{T_1}^T - E(B/C)_{T_1}^T.$$

Када узмемо извод по T леве и десне стране ове једначине, добијамо:

$$P_T(A/B) = P_T(A/C) - P_T(B/C).$$

Дакле, између термоелектрични способности постоји исти однос као и између емс спрегова.

Како су:

$$P_T(A/C) = a_1 + b_1T \text{ и } P_T(B/C) = a_2 + b_2T,$$

то је:

$$P_T(A/B) = a + bT = (a_1 - a_2) + (b_1 - b_2)T,$$

односно:

$$a = a_1 - a_2 \text{ и } b = b_1 - b_2.$$

Значи, ако експериментално одредимо параметре a_1 и b_1 за спрег метала A са металом C , и параметре a_2 и b_2 за спрег метала B са истим металом C , помоћу последњих једначина можемо израчунати и параметре a и b за спрег метала A и B . Зато се експериментално одређују параметри појединих метала само према једном, произвољно изабраном металу. Из тих података се израчунавају параметри и за спрегове било која два метала. За метал

поређаење обично се узима олово, јер је Томсонов коефицијент за олово занемарљив. За разлику од олова, термоелектрични коефицијенти свих познатих суперпроводника су нула.

Уколико се овакав узорак метала стави у спољашње електрично поље које ће бити супротно усмерено у односу на градијантом температуре настало унутрашње поље, успостављање струје захтеваће допунску енергију која ће загревати узорак. У случају да су спољашње и унутрашње поље истог смера, за успостављање струје требаће мање енергије него код електронеутралног узорка, што доводи до његовог хлађења.

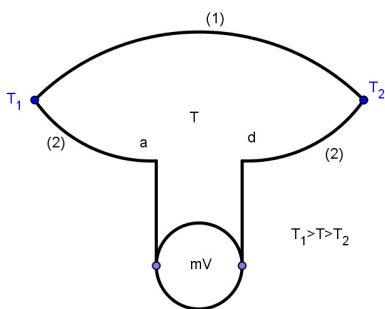
Тако се може закључити да електротермички Томсонов ефекат при протицању струје кроз узорак који има градијент температуре, у зависности од њеног смера, доводи до загревања или хлађења. Одговарајућа топлотна енергија у запремини dV , дата је изразом:

$$dQ = -\sigma (\nabla T \cdot \vec{j}) dt dV$$

где је у загради дат скаларни производ градијента температуре ∇T и струјне густине \vec{j} , а σ је Томсонов коефицијент који зависи од конкретног материјала.

Томсон коефицијент је јединствен међу три главна термоелектричне коефицијената, јер је то једини термоелектрични коефицијент директно мерљив за индивидуалне материјале.

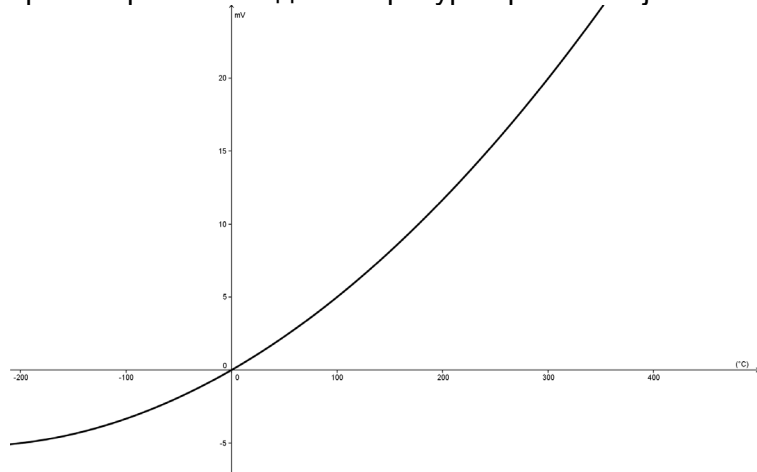
На слици 1. шематски је приказан темопар сачињен од два елемента спојених у тачкама означених са А и В. Уколико су они на различитим температурама, успоставља се струјни ток пропорционалан разлици температура. Наиме, електромоторна сила је пропорционална разлици температура и карактеристикама коришћених материјала, па се прецизним мерењем може одређивати и температура. При томе је уобичајено да се референти крај држи на константној температури (најчешће 0°C , у мешавини воде и леда), па се другим крајем одређује вредност мерене температуре.



слика 1. шема термопара

Електромоторна сила је реда величине десет микроволти по једном степену и само је апроксимативно линеарно зависна од температуре у ужим температурним интервалима. Најчешће се користе термопарови сачињени од спојева платине и родијума, хрома и алумела, гвожђа и константана, као и

бабра и константана. За последњи тип термопара, калибрациона крива зависности електромоторне силе од температуре приказана је на слици 2.



слика 2. калибрациона крива термопара бакар – константана

У металима као што су цинк и бакар, чије је топлији крај на виши потенцијалу и хладније крај на нижем потенцијалу, када се струја креће од топлији краја ка хладнијем крају, струја се креће од вишег ка нижем потенцијалу, тако да постоји еволуција топлоте. То се зове позитиван ефекат Томсона.

У метале као што су кобалт, никла и гвожђе, чији је хладнији крај на вишем потенцијалу и топлији крај на нижем, када се струја креће од топлијег краја ка хладнијем крају, она иде од нижег до високог потенцијала, тада постоји апсорпцију топлоте. То се зове негативна Томсонов ефекат.

3 Примена

Емс термоспрегова су врло мале. Сем тога, и степен корисног дејстава је врло мали, не прелази 1%. Зато термоспрегови нису нашли примене као електрични генератори.

Термоспрегови се најчешће примењују за мерење температуре, а и за нека електрична мерења. Помоћу њих се могу измерити температуре веома прецизно, а и температуре знатно веће од оних које се могу измерити обичним термометром. За мерење високих температура се граде спрегови од метала и легура који имају високу тачку топљења. Предност термоспрега над обичним термометром је и у томе што спој метала може имати мале димензије и може се поставити и на места која нису приступачна обичним термометрима.

Да би се могле мерити температуре помоћу неког термоспрега, треба познавати криву промене емс тог спрега. Помоћу те криве и измерене емс у одређеном случају одређује се температурна разлика.

Седамдесетих година прошлог века почели су се користити и термоспрегови од полупроводника. Са овим спрегима се достижу степени корисног дејства и до 4%. Они се употребљавају за хлађење, јер се помоћу њих може снизити температура и за 50°C .

4 Литература

- Експериментална физика кондезоване материје, Драгослав М. Петровић, Светлана Р. Лукић, Едиција: „Универзитетски уџбеник“ Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2000. године
- Основи електротехнике, Миодраг Н. Ранојевић, Грађевинска књига, Београд, 1968. година
- <http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/java/thomsoneffect/index.html>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect#Thomson_effect



5 Садржај

Томсонов ефекат

семинарски рад

професор:
Светлана Р. Лукић

студент:
Драгиња Прокић287/06

Нови Сад, 2010.

Термоелектричне појаве.....	1
Електротермички – Томсонов ефекат	4
Примена	11
Литература.....	12