

UOT 537.322

GƏMİ ELEKTRİK AVADANLIĞINDA TƏTBİQ EDİLƏN METAL VƏ YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ TERMoeLEKTRİK HADİSƏLƏRİNİN ARAŞDIRILMASI

Sultanov E.F., Allahverdiyeva A.T., Əliyev Ş.R.

“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ

AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18

Azərbaycan Texniki Universiteti

AZ1073 Bakı şəh., H. Cavid pr., 25

E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, aynuraaynura@mail.ru, samxalaliyev7@gmail.com

Xülasə. Məqalədə gəmi elektrik avadanlığında tətbiq edilən metal və yarımkeçiricilərdə Seebeck effekti, Peltie effekti və Tomson effekti kimi əsas termoelektrik effektlərdən bəhs olunur. Bu təsirlərə əsasən, onların fiziki xassələri, həmçinin onların termoelektrik cihazlarda istifadəsinə baxılmışdır. Bundan əlavə, hər bir təsirin müsbət və mənfi xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Məqalədə həmçinin onların ətraf mühitin müasir reallıqlarında tətbiqinin aktuallığı və bu istiqamətin inkişaf perspektivləri də verilmişdir.

Abstract. The article presents such basic thermoelectric effects as the Seebeck effect, the Peltier effect and the Thomson effect. Based on these effects, their physical properties were considered, as well as their use in thermoelectric devices. In addition, the pros and cons of each effect were analyzed. A rationale for the relevance of their application in the modern realities of the surrounding world and the prospects for the development of this direction are presented in the article.

Аннотация. В статье представлены такие базовые термоэлектрические эффекты как эффект Сеебека, эффект Пельтье и эффект Томпсона. На основе этих эффектов были рассмотрены их физические свойства, а также их использование в термоэлектрических приборах. Помимо этого были проанализированы преимущества и недостатки каждого эффекта. В статье также было предоставлено обоснование актуальности их применения в современных реалиях окружающей среды и перспективы развития этого направления.

Açar sözlər: termoelektrik hadisələr, Seebeck effekti, Peltie effekti və Tomson effekti, termoelektrik hərəkət qüvvəsi, termoelektrik cihazlar, naqıl cütü, istilik enerjisi

Key words: thermoelectric phenomena, Seebeck effect, Peltier effect and Thomson effect, thermoelectric driving force, thermoelectric devices, pair of wires, thermal energy

Ключевые слова: термоэлектрические явления, эффект Сеебека, эффект Пельтье и эффект Томсона, термоэлектрическая движущая сила, термоэлектрические устройства, пара проводов, тепловая энергия

Giriş. Texnikanın başqa sahələrində olduğu kimi, gəmiqayırma sənayesində də elektrotexniki materiallar geniş tətbiq olunur. Gəmilərdə bir çox elektrotexniki qurgular və avadanlıqlar mövcuddur ki, bunların hazırlanması və istismarında elektrotexniki materiallardan geniş istifadə olunur. Elektrotexniki materiallar elektrotexnikada tətbiq edilən materiallar olub elektrik, maqnit sahələrinə münasibətdə müəyyən xüsusiyyətlərlə xarakterizə edilir, eyni zamanda onlar xüsusi materiallar olmaqla bütün elektrotexniki avadanlıq, qurğu, məmulatların hazırlanmasında, təmiri və istismarında istifadə olunur [1, 2].

Qeyd olunduğu kimi, elektrik avadanlığı, qurğu və məmulatların istismar prosesində etibarlı işi onlarda tətbiq edilən elektrotexniki materialların keyfiyyətindən asılıdır. Elektron keçiricilikli cisimlərin böyük qrupu xüsusi müqavimətlərinin qiyməti keçiricilər və dielektriklər arasında olmaqla yarımkeçiricilərə aid edirlər. Yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyi xarici energetik təsirlərdən və

müxtəlif qarışıqlardan çox həssaslıqla asılıdır.

Yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyinin temperatur, işıq, elektrik sahəsi, mexaniki təsir vasitəsilə idarə olunması müvafiq olaraq termorezistor (termistor), fotorezistor, qeyri-xətti rezistor (varistor), tenzorezistorların və s. iş prinsipinin əsasını təşkil edir. Bütün bunları nəzərə alaraq gəmi elektrik avadanlığında tətbiq edilən metal və yarımkeçiricilərdə Seebek effekti, Peltie effekti və Tomson effekti kimi əsas termoelektrik effektləri təhlil olunmuşdur [3, 4].

Əsas hissə. Müasir texnikanın və texnologiyaların inkişafı daima daha səmərəli elektrik enerjisi mənbələrinin hazırlanmasını və təkmilləşdirilməsini tələb edir. Son zamanlar elektrik enerjisi mənbələri üçün qoyulan əsas tələblərdən biri yüksək effektivliklə yanaşı, onların ekoloji cəhətdən də səmərəli olmasıdır. İstehsal olunan enerji bərpa olunmalı və ətraf mühitə mənfi təsir göstərməməlidir. İnkişafın perspektivli istiqaməti Seebek effekti əsasında işləyən və istilik enerjisinin birbaşa elektrik enerjisinə çevrilməsini həyata keçirən termoelektrik generatorların geniş tətbiqi hesabına, termoelektrik emalının sənayedə istifadə edilməsidir. Müasir termoelektrik generatorların mühüm çatışmazlığı istilik enerjisinin elektrik enerjisinə çevirmə əmsalının kiçik olması, yəni təxminən 8%-dən çox olmaması və termoelektrik generatorlarda istifadə olunan, eyni zamanda, böyük elektrikkeçirməyə, termoelektrik hərəkət qüvvəsinə və kiçik istilikkeçirməyə malik olan termoelektrik materialın-yarımkeçiricinin xassələri ilə məhdudlaşmasıdır [5, 6].

Yarımkeçiricinin bu xassələri onun termoelektrik keyfiyyətliyini və ya termoelektrik effektivliyini artırmaq məqsədilə, yeni elmi və texnoloji yanaşmaların axtarışını və işlənilib hazırlanmasını müəyyən edir.

Metallarda (eləcə də yarımkeçiricilərdə) istilik və elektrik hadisələri ilə yanaşı, onların birgə təsiri nəticəsində yaranan termoelektrik hadisələri də mövcuddur. Belə hadisələr sırasına Seebek, Peltie və Tomson hadisələri daxildir.

Seebeck və Peltier effektləri. Termoelektrik (TE) effektlərin və cihazların müzakirəsi ən fundamental hadisələrdən biri ilə Seebeck əmsalı və ya termogüclə başlamalıdır [7, 8, 9].

1800-cü illərin əvvəllərində Seebeck müşahidə etdi ki, əgər iki fərqli material birləşdirildikdən və qovşaqlar müxtəlif temperaturalarda keçirildikdən (T və $T+\Delta T$), sonra temperatur fərqi (ΔT) mütənəsbib olan gərginlik fərqi (ΔV) yaranır. Yaranan gərginliyin temperatur fərqi nisbəti ($\Delta V/\Delta T$) Seebeck əmsalı (α) və ya istilik gücü adlanan materialların daxili xassəsi ilə bağlıdır. Bu təsiri material üzərində temperatur qradienti yaratmaqla başa düşülə bilər, daha enerjili elektronlar elektrik sahəsi yaranana qədər daha aşağı potensiala miqrasiya edirlər ki, buda elektronların sonrakı axınına mane olur. Bu təsir şəkil 1-də verilmişdir, burada verilmiş temperatur qradienti ∇T -nin əksi olan elektrik sahəsinin yaradılması göstərilir, mənfi elektronlar isə α_n işarə olunur:

$$E = \alpha_n \cdot \nabla T$$

Seebeck əmsalı metallar üçün çox aşağıdır (bir dərəcə Kelvin üçün yalnız bir neçə mikrovolt) və yarımkeçiricilər üçün daha yüksəkdir (adətən bir Kelvin dərəcəsi üçün bir neçə yüz mikrovolt).

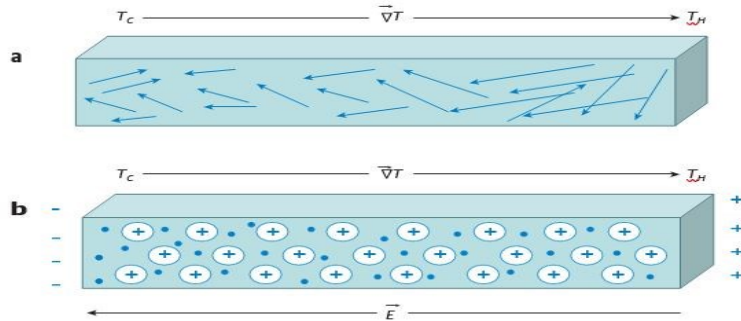
Seebekin müşahidəsindən bir neçə il sonra Peltier əlaqəli effekti (Peltier effekti) kəşf edildi: elektrik cərəyanı iki fərqli materialın qovşağından keçir, istilik udulur və ya cərəyanın istiqamətindən asılı olaraq qovşaqda rədd edilir. Bu təsir iki materialın Fermi enerjilərindəki fərqi əsasən yaranır [7, 8, 9].

Peltier əmsalı tərifində göstərildiyi kimi, bu iki təsir bir-biri ilə bağlıdır, $\Pi = \alpha T$. Peltier istiliyinin qovşaqda sərbəst buraxılması və ya rədd edilməsi sürəti ($\dot{Q}_P$) $\dot{Q}_P = \alpha I T$ ilə verilir, burada I qovşaqdan keçən cərəyandır və T Kelvin dərəcəsində olan temperaturdur. Termoelektrik tətbiqlər üçün materialın potensialının ölçüsüz böyük hissəsi aşağıdakı düsturla müəyyən edilir,

$$ZT = \alpha^2 \sigma T / \kappa = \alpha^2 T / \rho \kappa$$

burada α Seebek əmsalı, σ elektrik keçiriciliyi, ρ elektrik müqavimətidir və κ ümumi istilik keçiriciliyi ($\kappa = \kappa_L + \kappa_E$, burada müvafiq olaraq κ_L və κ_E şəbəkə və elektron keçiriciləridir). Güc faktoru, $\alpha^2 \sigma T$ (və ya $\alpha^2 T / \rho$), ən yüksək f.i.ə vermək üçün daşıyıcı konsentrasiyanın (adətən təqribən 10^{19} daşıyıcı

sm⁻³) funksiyası kimi dar boşluqlu yarımkəçirici materiallarda doping(suni yolla) vasitəsilə optimallaşdırılır. Yüksək hərəkətililik daşıyıcılarının müəyyən bir daşıyıcı konsentrasiyası üçün ən yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olması ən arzuolunandır. Tək bir material üçün f.i.ə bir qədər mənasızdır, çünki cihaz və ya modulda bir sıra termoelektrik cütləri istifadə olunur [7, 8, 9].



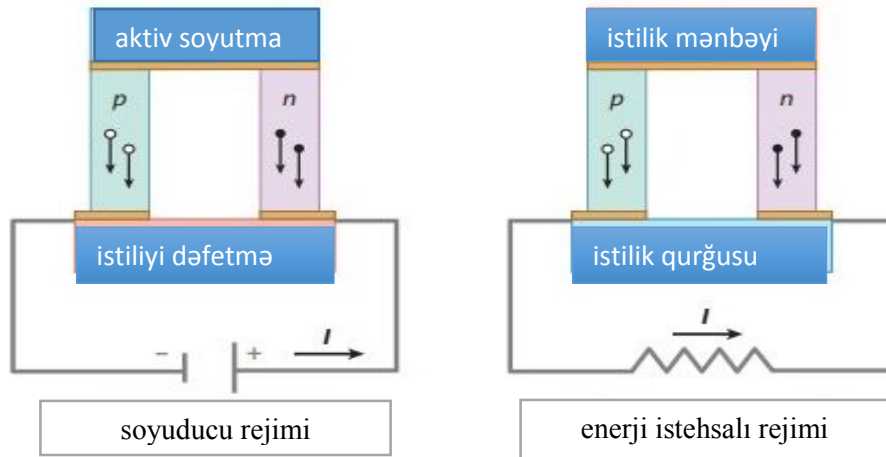
Şəkil 1. Materialın xarici temperatur gradientinə məruz qaldığı zaman termoelektrik effektin təsviri

Materialın xarici temperatur gradientinə məruz qaldığı zaman termoelektrik effektin təsviri və sistem tarazlıqdadır (a). Daha enerjili elektronların orta sərbəst yolu daha uzun olur. (b) Bunlar daha çox enerjili elektronlar (mavi nöqtələrlə işarələnir) sonra elektrik sahəsi (E) yaranana qədər soyuq tərəfə yayılır, hər hansı bir sonrakı diffuziyaya qarşı çıxır. Biz α -i soyuq tərəfin temperaturu T_c -dən isti tərəfin temperaturu T_H -ı artan kimi təyin edirik, buna görə də göstərilirdiyi kimi temperatur qradienti ∇T müəyyən edilir. Çünki elektronlar mənfi yüklüdür (buna görə də α_n mənfidir), bunun əksi olan elektrik sahəsi sistem tarazlıqda olduqdan sonrakı diffuziyaya qarşı çıxmaq üçün temperatur qradienti yaradır [7, 8, 9].

Termoelektrik cütliyündə iki material var: n və p tip növləri var. Əgər kontakt müqaviməti və radiasiya effektləri kimi cihazın işləmə qabiliyyətini azaldan parazit əlavələrə məhəl qoyulmursa, nəticədə cütlük üçün f.i.ə (yalnız termoelektrik materialları əsasında) verilir.

$$ZT = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2 \cdot T}{\left[(p_n \cdot k_n)^{\frac{1}{2}} + (\rho_p \cdot k_p)^{\frac{1}{2}} \right]^2}$$

n tipli daşıyıcıların termogücü (α_n) mənfi, dəşiklərininki isə (α_p) müsbətdir.



Şəkil 2. n tipli və p tipli termoelektrik materiallardan hazırlanmış termoelektrik cütün konfigurasiyadan asılı olaraq enerji istehsalı və ya soyuducu rejimləri

Performans əmsalı (ϕ) (soyudma rejimi) və termoelektrik səmərəliliyi (η_{TE}) üçün tənlik 3-də göstərildiyi kimi birbaşa ZT ilə bağlıdır.

TE cütünün səmərəliliyi (η_{TE}) yükə daxil olan enerji ilə (W) xalis istilik axını sürəti (Q_H) ilə verilir, burada Q_H mənbədən istilik axını istiqamətində müsbətdir:

$$\eta_{TE} = \frac{W}{Q_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \left(\frac{(1 + ZT_M)^{1/2} - 1}{(1 + ZT_M)^{1/2} + T_C/T_H} \right)$$

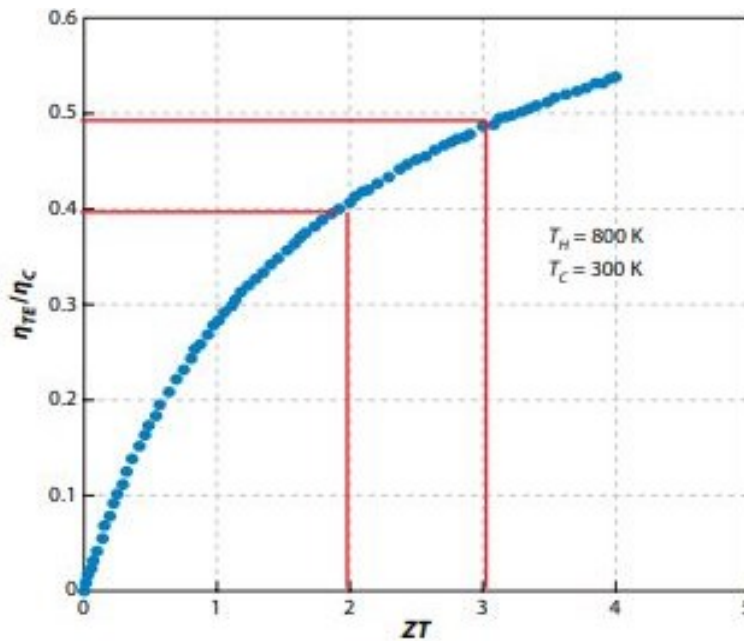
N tipli və p tipli termoelektrik materiallardan hazırlanmış termoelektrik cütün ümumi diaqramı. Konfigurasiyadan asılı olaraq enerji istehsalı və ya soyuducu rejimləri mümkündür. Qırmızı daha isti temperaturları deməkdir, mavi isə daha soyuq temperaturları bildirir.

burada T_H isti tərəfin temperaturu, T_C soyuq tərəfin temperaturu və T_M orta temperaturdur. Beləliklə, η_{TE} “Carnot” səmərəliliyinə (η_C) mütənəsbidir:

$$\eta_C = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

iki temperatur arasında, T_H və T_C termodinamikadan bildiyimiz istilik mühərrikinin maksimum səmərəliliyidir. Şəkil 3 də $T_H=800$ K və $T_C=300$ K temperaturlar arasında işləyən bir istilik mühərriki üçün f.i.ə-nın funksiyası kimi qrafada η_{TE} və η_C nisbətini göstərir, hansı ki, bu 62% “Carnot” səmərəliliyini verəcəkdir. Bu sxem cihazların elektrik müqaviməti və ya radiasiya effektləri kimi itkilər olmadan işlədiyini və f.i.ə bu iki temperatur arasında sabit olduğunu göstərir.

Təbii ki, bunlar real fərziyyələr deyil və həmin sahə yalnız səmərəliliyin əldə edilməsində ən böyük həddin harada olacağını müəyyən etmək üçün ölçü kimi f.i.ə da vahid artıma nail olunan qiymət götürülür. Ən böyük f.i.ə mənim fikrimə görə 2 və 3 arasında olur, termoelektrik materiallarının tədqiqatının son məqsədi f.i.ə $\approx 2-3$ stabildir, aşağı parazit itkisi olan toplu termoelektriklər n tipli və p tipli materiallardır hansı ki, bu iki temperatur arasında f.i.ə yüksək qiymətə malikdir.

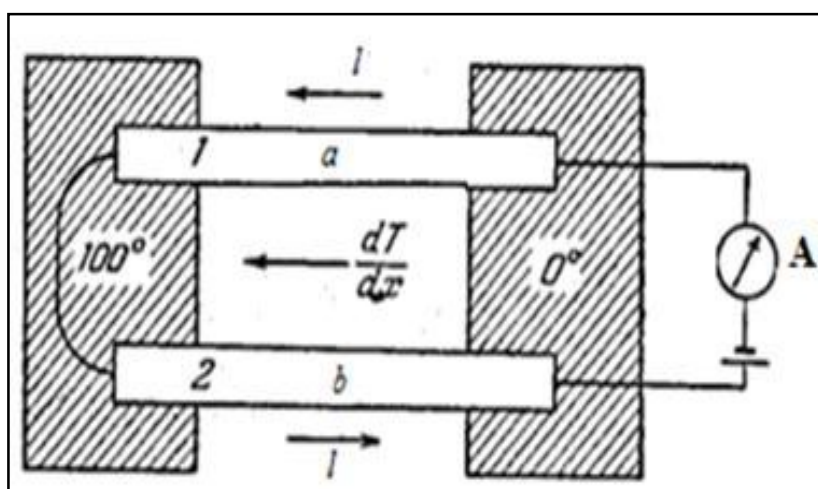


Şəkil 3. *n tipli və p tipli termoelektrik materiallardan hazırlanmış termoelektrik cütün ümumi diaqramı*

F.i.ə termoelektrik səmərəliliyin Carnot səmərəliliyinə (η_{TE} / η_C) nisbətidir. Maksimum səmərəlilik və ya Carnot səmərəliliyi $\eta_C = (T_H - T_C) / T_H = (800 \text{ K} - 300 \text{ K}) / 800 \text{ K} = 63\%$ ilə verilir. burada T_H isti tərəfin temperaturu və T_C soyuq tərəfin temperaturudur. Bu sxemdə elektrik müqaviməti və ya radiasiya təsirində heç bir itkiləri nəzərdə tutmur və f.i.ə bu iki temperaturlu cisimlər arasında mahiyyətcə sabitdir. Qırmızı daha isti temperaturu, mavi isə daha soyuq temperaturu bildirir [7, 8, 9].

Tomson hadisəsi. Termoelektrik hadisələrini tədqiq edərkən Tomson müəyyən etmişdir ki, bircins naqıl boyunca temperatur qradienti yaratsaq, orada istiliyin ayrılması və ya udulması müşahidə olunur.

Bu istilik də ya Coul-Lens istiliyinə əlavə olunur, ya da ondan çıxılır. Tomson hadisəsi adlanan bu hadisə dəqiq desək, bilavasitə toxunma hadisəsinə aid deyildir. Lakin, onun mənşəyi toxunma yerində baş verən hadisələrin əmələgəlmə səbəbləri ilə sıx əlaqədardır. Tomson effektini müşahidə etmək üçün şəkil 4-də təsvir olunan təcrübədən istifadə edilir.



Şəkil 4. Tomson effektini müşahidə etmək üçün qurğu

$$Q = \tau \Delta T I t$$

Bu düstur naqilin baxılan parçasında ayrılan tam Tomson istiliyi miqdarını verir. Tomson hadisəsi Peltje hadisəsinə analogi olaraq izah edilir. Tomson əmsalının qiyməti kiçikdir. Məsələn, bismut üçün otaq temperaturunda

$$\tau = 10^{-5} \frac{V}{K}$$

İlk yaxınlaşmada Tomson effektinin izahını belə vermək olar: elektronlar naqilin isti ucundan soyuq ucuna doğru hərəkət etdikdə (cərəyan əks istiqamətdə axır) onlar özləri ilə əlavə istilik enerjisi daşıyır və bu enerji daha aşağı temperaturlu oblastda istilik ayrılmasına səbəb olar. Əks istiqamətdə hərəkət zamanı elektronlar «qızmalır»; bu isə qəfəsin istiliyi hesabına baş verər və nəticədə istilik udular.

Nəticə. Məqalədə gəmi elektrik avadanlığında tətbiq edilən metal və yarımkəçiricilərdə Seebeck effekti, Peltje effekti və Tomson effekti kimi əsas termoelektrik effektləri araşdırılmış və onların ətraf mühitin müasir reallıqlarında tətbiqinin aktuallığı və bu istiqamətin inkişaf perspektivləri təhlil edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Barxalov B.Ş., Hüseynov Y.Y., İsmayılov R.M. Elektron texnikasının materialları, Sumqayıt, Bakı, 2007, 232 səh.
2. Məhərrəmov A.M., Ramazanov M.O., Vəliyeva L.İ. Nanotexnologiya. Bakı, 2007 - 232 səh.
3. Orucov A.O., Niftiyev S.N., İbrahimov B.Q.. «Elektrotexniki materiallar», Bakı, 2009, 407 səh.
4. Abdinov Ə.Ş, Safarov V.H. “Elektron texnikasının materialları və nanotexnologiyanın əsasları”, Bakı, “Təhsil”, 2010 - 184 səh.
5. E.F. Sultanov, A.T. Allahverdiyeva. “Elektrotexniki materiallar” dərs vəsaiti, Bakı 2020, 175 səh.
6. М.А. Князев, Д.А. Русакевич, Е.Е. Трофименко. Изучение термоэлектрических явлений и их применение. Минск: БНТУ, 2010.
7. Материалы для термоэлектрических преобразователей. Тез. докл. IV межгос. семинара, ФТИ, 1995.
8. Chaiken PM. 1990. An introduction to thermopower for those who might want to use it to study organic conductors and superconductors. In Organic Superconductors, ed. VZ Kresin, WA Little, pp. 101–105. New York: Plenum
9. Lan Y, Minnich AJ, Chen G, Ren Z. 2010. Enhancement of thermoelectric figure-of-merit by a bulk nanostructuring approach. Adv. Funct. Mater. 20:357–76

Мəqalə qəbul olunub: 31.03.23
Təvsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.