

**ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ, ՄԻԿՐՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ ԵՎ**  
**ՆԱՆՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ**

ՀՏԴ 621.377.6

**Հ.Ռ. ԴԱՇՏՈՅԱՆ, Տ.Դ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ**

**W, Sn, C, Cr ՀԻՄՔՈՎ ԻՆՔՆՈՒՂՈՐԴՎԱԾ ՀՈՍՔՈՒՂՈՎ**  
**ՄԵՄՐԻՍՏՈՐՆԵՐԻ ՎՈՒՏ-ԱՄՊԵՐԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ**  
**ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Հետազոտվել են ինքնուղղորդված հոսքուղով (Self-Directed Channel) վոլֆրամե, քրոմե, անագե և ածխածնային Knowm մեմրիստորների բնութագրերը մինչև 10 կՎց հաճախության տիրույթում: Հետազոտվել են տարբեր կառուցվածքով մեմրիստորների փոխանջատման լարումները, բարձր/ցածր դիմադրության վիճակների դիմադրությունները, փոխանջատման ժամանակները: Կատարվել է բնութագրերի համեմատական վերլուծություն:

**Առանցքային բառեր.** մեմրիստոր, ինքնուղղորդված հոսքուղի, վոլտ-ամպերային բնութագիր (ՎԱԲ), հիստերեզիս:

**Ներածություն:** Ներկայումս անալոգային և թվային էլեկտրոնիկայի զարգացումը հանգեցրել է արագագործ, էներգախնայող, դյուրակիր սարքերի ստեղծմանը՝ համակարգիչներ, հեռահաղորդակցության սարքեր և այլն: Սակայն ինֆորմացիայի հավաքման, մշակման, պահպանման և հաղորդման պահանջվող արագությունները և ծավալները շարունակաբար աճում են: Այդ տեսանկյունից կարևոր խնդիր է նոր տիպի համակարգիչների ստեղծումը, օրինակ՝ նեյրոհամակարգիչներ կամ քվանտային համակարգիչներ: Այս խնդրի լուծման համար մշակվում են տարբեր տարրային բազաներ: Դրանցից մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում մեմրիստորները: Մեմրիստորները պինդամրմնային կառուցվածքներ են, որոնք էլեկտրական ազդակի հետևանքով փոխում են իրենց դիմադրությունը և էներգաանկախ կերպով երկարատև կայուն պահում այն [1]:

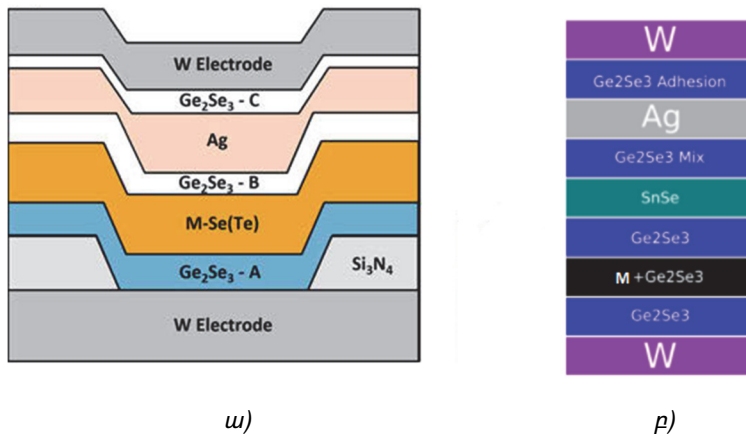
Մեմրիստորները հիմնականում ունեն դիմադրության երկու կայուն վիճակ (բարձր դիմադրության վիճակ՝ HRS, և ցածր դիմադրության վիճակ՝ LRS), որոնցով ապահովվում է տվյալների պահպանումը երկուական տրամաբանությամբ [1-3]:

Մեմրիստորների և դրանց կիրառությունների ուսումնասիրությամբ զբաղվող Knowm կազմակերպությունն արտադրում է ինքնուղղորդված հոսքուղով (SDC – Self-Directed Channel) մեմրիստորներ, ինչպես նաև դրանց հետազոտման ապարատային և ծրագրային գործիքներ [4,5]:

Այժմ կատարվում են SDC դասին պատկանող մեմրիստորների և դրանց հիման վրա սարքերի ինտենսիվ հետազոտություններ [5]:

**Հետազոտության առարկան:** SDC մեմրիստորները, «օքսիդային» ու «փուլի փոփոխումով» մեմրիստորների նման, ունեն բազմաթիվ տեսակներ: Knowm SDC մեմրիստորների կառուցվածքի դիմադրության փոփոխությունը պայմանավորված է ակտիվ շերտում գտնվող հոսքուղիների միջով արծաթի իոնների տեղաշարժով: Ակտիվ շերտում մետաղի կատալիզացված ռեակցիան գեներացնում է մշտական հաղորդիչ հոսքուղիներ, որոնք պարունակում են արծաթի ագլոմերացիայի մասեր: Արծաթի քանակությունը հոսքուղում որոշում է սարքի դիմադրությունը [1,5]:

Knowm SDC մեմրիստորներին բնորոշ են բարձր դիմացկունությունը, ցածր փոխանցատման լարումը, անալոգային վիճակի պահպանումը, բարձր միացման/անջատման հարաբերակցությունը և երկար (գրեթե անսահման) ծառայության ժամկետը: SDC մեմրիստորի կառուցվածքները բերված են նկ. 1-ում:



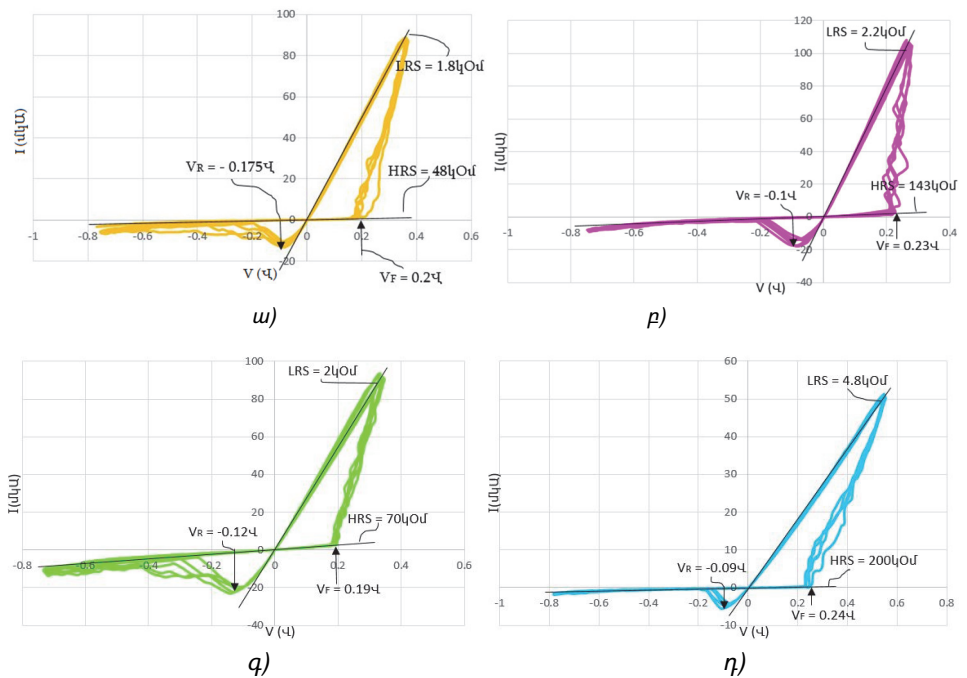
Նկ. 1. SDC մեմրիստորի (ա) և Knowm M-SDC մեմրիստորի (բ) կառուցվածքները

Այժմ պատրաստվող Knowm մեմրիստորները տարբերվում են լեգիրացնող խառնուրդով և լինում են 4 տեսակի՝ W-ի, C-ի, Sn-ի և Cr-ի հիմքով [5]: Բոլոր 4 տեսակի մեմրիստորներն ունակ են՝ պահելու անալոգային վիճակներ, սակայն դրանք իրարից տարբերվում են իրենց բնութագրերով: Օրինակ՝ վոլֆրամե մեմրիստորներն օժտված են ոչ մեծ/արագ փոխանցատման արձագանքով, ածխածնային մեմրիստորների փոխանցատման էներգիան շատ փոքր է, և դրանց փոխանցատման ամենաարագն է, անագե մեմրիստորներին բնորոշ է միջին փոխանցատման արձագանքը, իսկ քրոմե մեմրիստորներին՝ ամենաբարձր շեմերը և ամենադանդաղ փոխանցատմումը: Տարբեր կառուցվածքներով SDC մեմրիս-

տորների հատկությունների բացահայտման նպատակով կատարվել են դրանց վոլտ-ամպերային բնութագրերի հետզոտում և համեմատական վերլուծություն:

**Փորձնական մաս:** Analog Discovery 2 և Memristor Discovery 2 հարթակների միջոցով ուսումնասիրվել են ինքնուղորդված հոսքուղով վոլֆրամե, անագե, քրոմե և ածխածնային Knowm մեմրիստորների վոլտ-ամպերային բնութագրերը: Դրանց կիրառելով 0.8 Վ ամպլիտուդով և 500 մՎ տևողությամբ եռանկյունաձև ազդանշան՝ չափվել են նշված մեմրիստորների վոլտ-ամպերային բնութագրերը (նկ.2): Պահպանելով կիրառված լարման ամպլիտուդն ու ազդանշանի ձևը և փոփոխելով կիրառված եռանկյունաձև ազդանշանի հաճախությունը՝ հետազոտվել են մեմրիստորների ՎԱԲ-երը տարբեր հաճախությունների դեպքում (նկ.3-6):

**Հետազոտության արդյունքները և դրանց վերլուծությունը:** Վոլֆրամե, քրոմե, անագե և ածխածնային մեմրիստորների ՎԱԲ-երը բերված են նկ.2-ում:



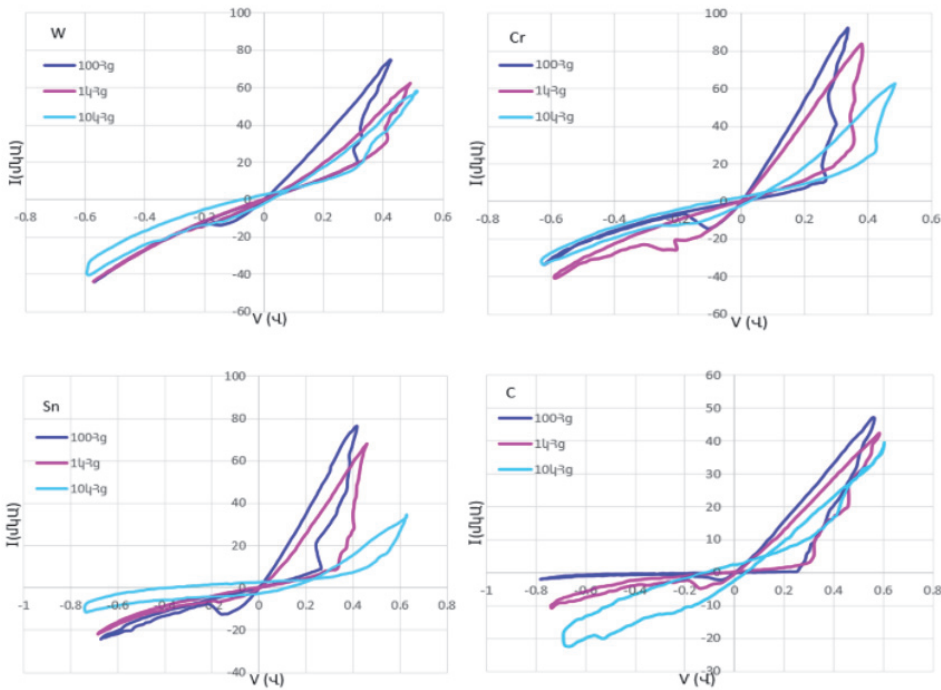
Նկ.2. Մեմրիստորների ՎԱԲ-երը՝ վոլֆրամե (ա), քրոմե (բ), անագե (գ) և ածխածնային (դ)

Նկ.2-ում պատկերված են մեմրիստորների շեմային լարումները ( $V_R$ -ը և  $V_F$ -ը), LRS և HRS վիճակների դիմադրությունները: Աղ.1-ում բերված են մեմրիստորների հիմնական բնութագրերի արժեքները:

M+SDC մեմրիստորների հիմնական բնութագրերի արժեքները

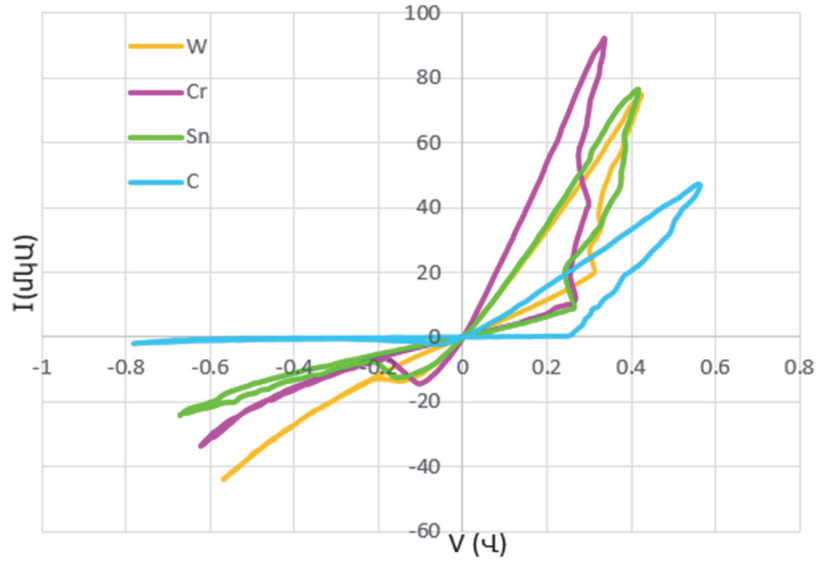
M+SDC	V <sub>F</sub> (վ)	V <sub>R</sub> (վ)	LRS (կՕմ)	HRS (կՕմ)	HRS/LRS
W	0.2	-0.175	1.8	48	26.6
Cr	0.23	-0.1	2.2	143	65
Sn	0.19	-0.12	2	70	35
C	0.24	-0.09	4.8	200	41.6

Նկ. 3-ում բերված են M+SDC (W, Cr, Sn և C) մեմրիստորների ՎԱԲ-երի հետազոտությունները 100 Հգ, 1 կՀգ և 10 կՀգ հաճախությունների դեպքում:

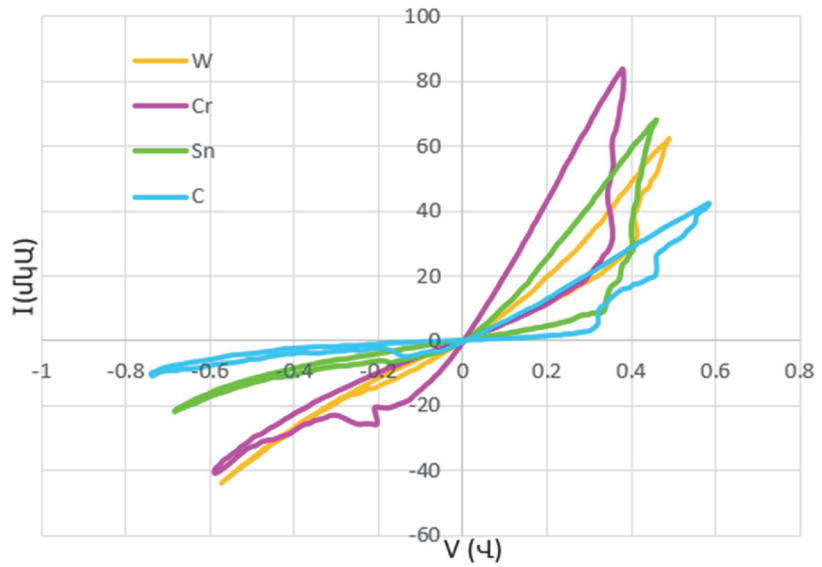


Նկ. 3. M+SDC մեմրիստորների ՎԱԲ-երը տարբեր հաճախությունների դեպքում

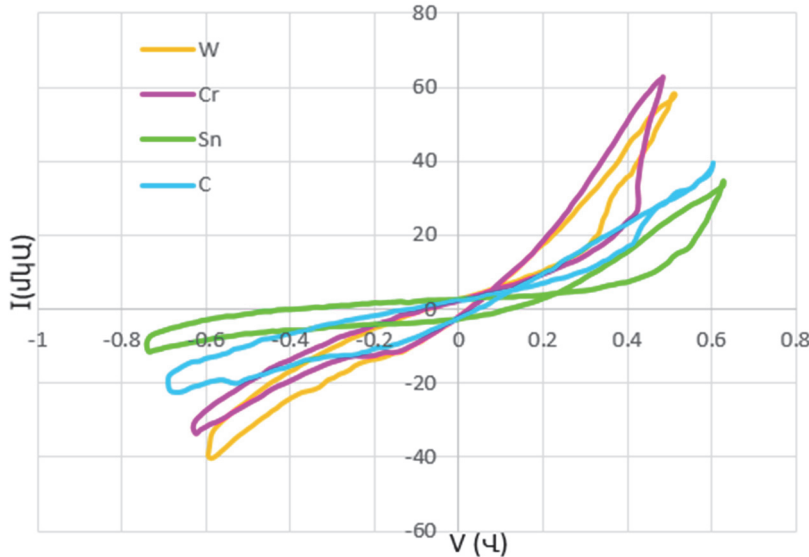
Տարբեր հաճախությունների դեպքում 4 տեսակի մեմրիստորների վոլտ-ամպերային բնութագրերը միասին բերված են նկ. 4 - 6-ում:



Նկ. 4. M+SDC մեմրիստորների ՎԱԲ-երը 100 Հց հաճախության դեպքում



Նկ. 5. M+SDC մեմրիստորների ՎԱԲ-երը 1 կՀց հաճախության դեպքում



Նկ. 6. M+SDC մեմբրիստորների ՎԱԲ-երը 10 կՀց հաճախության դեպքում

Ինչպես երևում է բնութագրերից, հաճախության մեծացմանը զուգընթաց նվազում են մեմբրիստորների HRS և LRS վիճակների դիմադրությունները, HRS/LRS հարաբերակցությունը, իսկ շեմային լարումները մեծանում են (աղ. 2):

Աղյուսակ 2

M+SDC մեմբրիստորների բնութագրերի արժեքները 10 կՀց դեպքում

M+SDC	$V_F$ (սմ)	$V_R$ (սմ)	LRS (կՕմ)	HRS (կՕմ)	HRS/LRS
W	0.33	-0.6	10	16.4	1.64
Cr	0.42	-0.62	7.6	15.7	2.06
Sn	0.47	-0.7	21.2	43.5	2.05
C	0.41	-0.67	17.1	23.3	1.36

Կատարվել է 4 տեսակի մեմբրիստորների տարբեր հաճախություններում չափված ՎԱԲ-երի և բնութագրերի համեմատական վերլուծություն: Հիշող սարքերում կիրառման տեսանկյունից ամենալավ բնութագրերն ունեն քրոմե մեմբրիստորները՝ մեծ HRS/LRS և փոխանջատման արագություն:

**Եզրակացություն:** Հետազոտվել են M+SDC վոլֆրամե, քրոմե, անագե և ածխածնային մեմբրիստորները, դրանց վոլտ-ամպերային բնութագրերը: Որոշվել են մեմբրիստորների հիմնական բնութագրերի արժեքները: Կատարվել է 4 տեսակի մեմբրիստորների ՎԱԲ-երի համեմատական վերլուծություն՝ տարբեր հաճախությունների դեպքում: Արդյունքում պարզ դարձավ, որ ըստ HRS/LRS և

փոխանջատման արագության ամենալավ բնութագրերն ունեն քրոմե մեմրիստորները:

*Հեղազոտությունը կատարվել է ՀԱՊՀ «Միկրո և նանոէլեկտրոնիկա» բազային գիտահեղազոտական լաբորատորիայում ՀՀ ԿԳՄՍ Գիտության կոմիտեի N.19YR-2J050 դրամաշնորհի շրջանակներում:*

#### **ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ**

1. Ինքնուղորդված հոսքուղով մեմրիստորների բնութագրերի հետազոտումը /**Հ.Ռ. Դաշտոյան, Տ.Դ. Գրիգորյան, Լ.Գ. Ռուստամյան, Մ.Լ. Կարապետյան, Ռ.Ա. Մկրտչյան** // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, Ճարտարագետ, 2021.- Մաս 2.- էջ 368-374:
2. **Waser R., Wuttig M.** Memristive Phenomena - from fundamental physics to neuromorphic computing: Lecture notes of the 47th IFF Spring School.- Forschungszentrum Jülich, Zentralbibliothek, Jülich, 2016.- 1027 p.
3. **Vourkas I., Sirakoulis G.Ch.** Memristor-Based Nanoelectronic Computing Circuits and Architectures.- Springer, Switzerland, 2016.- 241 p.
4. **Nugent M. Alexander & Molter Timothy W.** Thermodynamic-RAM technology stack // International Journal of Parallel, Emergent, and Distributed Systems. - 2018. - 33:4. - P. 430-444.
5. **Campbell K.A.** The Self-directed Channel Memristor: Operational Dependence on the Metal-Chalcogenide Layer. - Handbook of Memristor Networks, 2019. - 1357 p.

#### **А.Р. ДАШТОЯН, Т.Д. ГРИГОРЯН**

#### **СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК W, Sn, C, Cr МЕМРИСТОРОВ С САМОНАПРАВЛЕННЫМИ КАНАЛАМИ**

Исследованы характеристики вольфрамовых, хромовых, оловянных и углеродных мемристоров с самонаправленными каналами Knowm в диапазоне частот до 10 кГц. Изучены напряжения переключения, сопротивления высокое/низкое состояний, время переключения. Проведено сравнение характеристик и исследованы возможности применения их в устройствах с памятью интегрированной логики.

**Ключевые слова:** мемристор, самонаправленный канал, вольт-амперная характеристика (ВАХ), гистерезис.

**H.R. DASHTOYAN, T.D. GRIGORYAN**

**A COMPARATIVE STUDY OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTIC OF  
THE W, Sn, C, Cr SELF-DIRECTED CHANNEL MEMRISTORS**

The characteristics of tungsten, chromium, tin, and carbon self-directed channel known memristors were studied at up to 10 kHz. Besides, we have studied the switching voltages, resistances of HRS/LRS, and retention times. The characteristics were compared and the possibility of their application in logic embedded into memory devices were investigated.

**Keywords:** memristor, self-directed channel, volt-ampere characteristic (I-V), hysteresis.

UDC 621.316.58

**A.T. SIMONYAN**

**DESIGN OF A SYSTEM FOR MEASURING THE MAXIMUM POWER  
POINT OF SOLAR PANELS**

The maximum power point is an important parameter of solar panels. The solar panel works at its highest efficiency at that point. However, depending on the external conditions, such as irradiation and temperature, the maximum power point is constantly changing. Finding the maximum power point of a solar panel is practically necessary for the solar panel always to work at its maximum power.

In the scope of the current work, we have designed and implemented a system for measuring the maximum power point of solar panels. The tests of the designed system show the repeatability of the measurements and the dependence of the maximum power point of solar panels from the irradiation.

**Keywords:** maximum power point, solar panel, system for measuring maximum power point, solar panel efficiency.

**Introduction**

The rapid growth of solar energy is due to several important factors. First of all, renewable energy is incomparably preferable, besides, the price of natural fuels is increasing day by day, and the above-mentioned circumstances, the energy policy is pursued by large countries [1].

The total cumulative installed capacity for PV in 2009 was 2.6GW, in 2010 was 7,8GW and at the end of 2020 reached at least 760,4 GW [2].

The need for more available energy raises the issue of creating more up-to-date solar platforms that will be able to extract all the energy produced by the solar panel.

In order to ensure the best efficiency of the work of a solar panel, it is necessary that it always work at the maximum possible power: Maximum Power