

# فصل دوم «فرمول‌های دسته‌بندی شده‌ی فیزیک سوم دبیرستان» به همراه دیباچه‌ی آن

(در کتاب فیزیک سوم رشته‌ی علوم تجربی مبحث «ترمودینامیک» وجود ندارد پس

مبحث «الکتروسیته‌ی ساکن» فصل اول فیزیک سوم رشته‌ی علوم تجربی است.)

برای دریافت همه‌ی فصل‌ها «آموزشکده‌ی اینترنتی فیزیک

خورشیدوش» را در این نشانی ببینید:

<http://aif.khorshidvash.com>

# فرمول‌های دسته‌بندی شده‌ی

# فیزیک

## سال سوم دبیرستان

پدیدآورنده: مهدی عباسیان

سال انتشار: ۱۳۸۶ خورشیدی

[www.Khorshidvash.com](http://www.Khorshidvash.com)

## به نام خدا

## دیباچه

همواره دانش آموزان و دانشجویانی که به گونه‌ای با درس فیزیک سروکار دارند از به اصطلاح «قاطی کردن» فرمول‌های گوناگون آن رنج می‌برند. این سردرگمی تنها یک راه چاره دارد و آن سازماندهی رابطه‌هاست، درست مانند سازماندهی در ارتش! اگر در ارتش سازماندهی نمی‌بود سربازان هیچ تفاوتی با تیرهای چراغ برق نداشتند یعنی کاری از دستشان بر نمی‌آمد! خودتان را جای فرماندهی کل ارتش بدانید و رابطه‌های فیزیک را سربازان ارتش بیندازید. اگر به آن‌ها سامان ندهید هیچ سودی نخواهند داشت و در نبردهای گوناگون، مانند آزمون‌های کلاسی، آزمون پایان سال، آزمون کنکور، و ... به هیچ دردی نخواهند خورد؛ البته در پایان هم فرمانده (دانش آموز یا دانشجو) را شکست خورده می‌دانند و نه سربازان (فرمول‌ها) را!

در این نوشتار سازماندهی فرمول‌ها انجام شده است و شما تنها باید فرمان حمله را به آن‌ها بدهید. در این نوشتار، همه‌ی فرمول‌های کتاب را خواهید یافت که البته دارای این ویژگی‌ها هستند:

۱. اگر رابطه‌ای را با دانشی که پیش از این به دست آورده‌اید بتوان اثبات کرد، اثبات شده است؛
۲. رابطه‌های پیش‌نیاز هر رابطه معرفی شده است؛
۳. نکته‌های مهم هر رابطه گفته شده است؛
۴. در آغاز هر فصل رابطه‌ها به طور فهرست‌وار آورده شده اند؛
۵. کمیت‌های به کاررفته در هر رابطه و یکای هر یک از آنها شناسانده شده است؛
۶. هر جا که وجود شکل در فهم فرمول یاری‌رسان بوده، به کار برده شده است؛
۷. رابطه‌هایی را که بایستی از سال‌های پیش به یاد می‌داشتید به این نوشتار افزوده شده اند.

در دنباله، «چگونگی فن فرمول‌آموزی» را به شما خواهم گفت.

## فصل دوم (الکتریسیته‌ی ساکن)

فهرست فرمول‌های فصل:

فرمول	فرمول‌های پیش‌نیاز	نام فرمول یا گزاره	
$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$		قانون کولن	۱-۲
$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q_0}$	(۱-۲)	میدان الکتریکی	۲-۲
$\vec{F} = q\vec{E}$	(۲-۲)	نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی $\vec{E}$	۳-۲
$\sigma = \frac{q}{A}$		چگالی بار سطحی	۴-۲
$\Delta U = W$		تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی	۵-۲
$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$	(۵-۲)	اختلاف پتانسیل الکتریکی	۶-۲
$C = \frac{q}{V}$		ظرفیت هر خازن دلخواه	۷-۲
$C = k\epsilon_0 \frac{A}{d}$		ظرفیت خازن تخت (با به‌کارگیری مشخصه‌های خازن تخت)	۸-۲
$U = \frac{1}{2} qV$		انرژی خازن	۹-۲
$C_T = C_1 + C_2 + C_3$		خازن معادل به‌دست آمده از به هم بستن موازی چند خازن	۱۰- ۲
$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$		خازن معادل به‌دست آمده از به هم بستن متوالی چند خازن	۱۱- ۲

## (۱-۲) قانون کولن

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$F$ : نیروی وارده بر هر یک از دو ذره‌ی باردار (بر حسب N نیوتون))  
 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ : ضریب تناسب رابطه‌ی (۱-۲) است که آن را با نماد  $k$  نمایش می‌دهیم و مقدارش برابر است با  $K \approx 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$   
 $\epsilon_0$ : ضریب گذردهی خلاء که مقدار آن برابر است با  $\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$   
 $q_1$ : بار الکتریکی ذره‌ی ۱ (بر حسب C کولن))  
 $q_2$ : بار الکتریکی ذره‌ی ۲ (بر حسب C کولن))  
 $r$ : فاصله‌ی دو ذره‌ی ۱ و ۲ (بر حسب m متر))

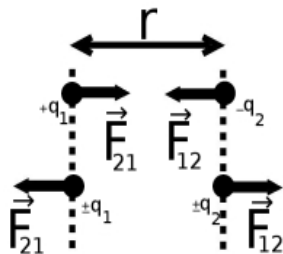
## تعریف تشریحی (۱-۲):

نیروی الکتریکی ربایشی میان دو ذره‌ی باردار  $q_1$  و  $q_2$  که در فاصله‌ی  $r$  از یکدیگر جای دارند، با حاصل ضرب دو بار نسبت مستقیم و با توان دوم فاصله‌ی دو ذره از یکدیگر نسبت وارون دارد.

## تکته:

نیروهای الکتریکی  $\vec{F}_{12}$  و  $\vec{F}_{21}$  که دو ذره‌ی باردار به یکدیگر وارد می‌کنند (۱) هم‌اندازه، و (۲) در خلاف جهت هم هستند (قانون سوم نیوتون)؛ اگر اندازه‌ی  $\vec{F}_{21}$  و  $\vec{F}_{12}$  را با  $F$  نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21} = F$$



در شکل روبرو  $\vec{F}_{12}$  نیرویی است که ذره‌ی اول با بار  $q_1$  به ذره‌ی دوم با بار  $q_2$  وارد می‌کند.  
 $\vec{F}_{21}$  نیز نیرویی است که ذره‌ی دوم با بار  $q_2$  به ذره‌ی اول با بار  $q_1$  وارد می‌کند.

## تکته:

علامت مثبت یا منفی بارهای الکتریکی  $q_1$  و  $q_2$  را در (۱-۲) وارد نمی‌کنیم.

## تکته:

اگر تعدادی ذره‌ی باردار در فضا داشته باشیم نیروی الکتریکی کل وارد بر هر ذره، برابر است با برابند نیروهایی که هر یک از ذره‌ها در نبود ذره‌های دیگر به آن ذره وارد می‌کنند.

## (۲-۲) میدان الکتریکی

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q_0}$$

$\vec{E}$ : میدان الکتریکی در نقطه‌ای که یکای بار مثبت  $q$  در آنجا جای دارد (بر حسب  $\frac{N}{C}$  (نیوتون بر کولن))

$\vec{F}$ : نیروی الکتریکی وارد بر یکای بار مثبت (بر حسب  $N$ )

$q$ : یکای بار مثبت یعنی ذره‌ای بسیار کوچک با بار بسیار کوچک (بر حسب  $C$ )

**نکته:**

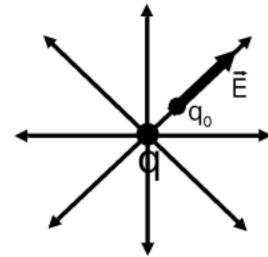
میدان الکتریکی  $\vec{E}$  همانند  $\vec{F}$  یک کمیت برداری است؛ جهت آن نیز در جهت  $\vec{F}$  است.

**میدان ناشی از یک ذره‌ی باردار:**

چنانچه در (۲-۲) به جای  $\vec{F}$  مقدار هم‌تراز آن را از رابطه‌ی (۱-۲)، یعنی  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ، جایگذاری کنیم و به جای  $q_1$  نماد  $q$  و به

جای  $q_2$  نماد  $q$  را به کار ببریم، خواهیم داشت

$$\vec{E} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2}}{q_0} \quad \longrightarrow \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (۲-۲)$$



رابطه‌ی (۲-۲) میدان حاصل از بار نقطه‌ای  $q$  در فاصله‌ی  $r$  از آن را به دست می‌دهد. در شکل بالا  $r$  برابر است با فاصله‌ی  $q$  تا  $q_0$ . هشیار باشید که یکای بار مثبت  $q$  (که بار بسیار بسیار کوچکی دارد) در میدان حاصل از  $q$  تاثیری ندارد.

چون ما رابطه‌ی نیروی وارد بر بار  $q$  توسط بار  $q$  در فاصله‌ی  $r$  از آن، رابطه‌ی (۱-۲)، را می‌دانستیم توانستیم (۲-۲) را به دست آوریم؛ اگر  $\vec{F}$  حاصل از هر توزیع دیگری از بارها، مانند یک استوانه‌ی باردار، را داشتیم میدان  $\vec{E}$  ناشی از آن را نیز می‌توانستیم به دست آوریم.

**نکته:**

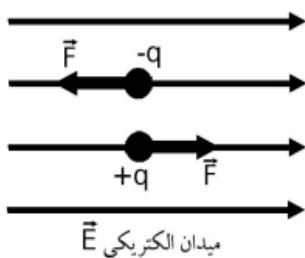
اگر در ناحیه‌ای از فضا چند ذره‌ی باردار داشته باشیم، در هر نقطه یک میدان الکتریکی وجود دارد؛ این میدان برآیند میدان‌هایی است که هر ذره‌ی باردار در نبود ذره‌های باردار دیگر در آن نقطه ایجاد می‌کند.

(۳-۲) نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی  $\vec{E}$ 

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$\vec{E}$ : میدان الکتریکی در نقطه‌ای که بار  $q$  در آنجا جای دارد (بر حسب  $\frac{N}{C}$  (نیوتون بر کولن))  
 $\vec{F}$ : نیروی الکتریکی وارد بر بار  $q$  (بر حسب  $N$ )  
 $q$ : بار ذره‌ی مورد نظر (بر حسب  $C$ )

در رابطه‌ی (۲-۲)، یعنی  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q}$ ، به جای یکای بار مثبت  $q$  بار  $q$  را می‌گذاریم که می‌تواند بزرگ‌تر و همچنین، به طور دلخواه، مثبت یا منفی باشد.

**تکته:**

از (۳-۲) آشکارا پیداست که اگر  $q$  مثبت باشد  $\vec{F}$  و  $\vec{E}$  در یک جهت هستند و اگر  $q$  منفی باشد  $\vec{F}$  در جهت مخالف  $\vec{E}$  خواهد بود. (شکل روبرو را ببینید.)

## (۴-۲) چگالی بار سطحی

$$\sigma = \frac{q}{A}$$

$\sigma$ : چگالی بار سطحی (بر حسب  $\frac{C}{m^2}$  (کولن بر متر مربع))  
 $q$ : بار الکتریکی توزیع شده در سطح رسانا (بر حسب  $C$ )  
 $A$ : سطح فلز (بر حسب  $m^2$  (متر مربع))

**تعریف تشریحی (۴-۲):**

بار الکتریکی موجود در یکای سطح جسم را چگالی سطحی بار الکتریکی گویند.

## (۵-۲) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی

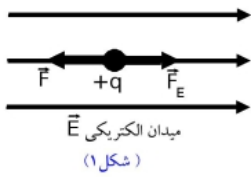
$$\Delta U = W$$

$\Delta U$ : تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک بار الکتریکی هنگامی که آن را در یک میدان الکتریکی جابه‌جا می‌کنیم (بر حسب  $J$  (ژول))  
 $W$ : کار (انرژی) -ای است که برای جابه‌جا کردن بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی باید صرف شود (بر حسب  $J$  (ژول))

\*به‌کارگیری و انتشار این نوشتار تنها با شرط نام بردن از منبع آن ([www.Khorshidvash.com](http://www.Khorshidvash.com))، و در هر جا به جز اینترنت، رواست و مانعی ندارد\*

از تعریف کار در (۷-۱)، یعنی  $W = Fd \cos\theta$ ، و با به کارگیری اندازه‌ی  $F$  از (۳-۲)، یعنی  $\vec{F} = q\vec{E}$ ، داریم

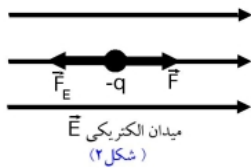
$$W = qEd \cos\theta \quad (۵-۲)$$



رابطه‌ی (۵-۲) برای به دست آوردن کاری است که باید انجام دهیم تا بار  $q$  را به اندازه‌ی  $d$  متر با زاویه‌ی  $\theta$  نسبت به خطوط میدان  $\vec{E}$  جابه‌جا کنیم.

#### هشدار:

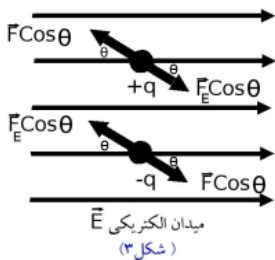
اگر بار  $q$  مثبت باشد تمایل دارد در جهت میدان  $\vec{E}$  حرکت کند و  $F$  می‌کند که ما باید برای غلبه بر این تمایل  $q$  اعمال کنیم در جهت خلاف میدان  $\vec{E}$  است (شکل ۱).  
و اگر بار  $q$  منفی باشد تمایل دارد در خلاف جهت میدان  $\vec{E}$  حرکت کند و  $F$  می‌کند که ما باید برای غلبه بر این تمایل  $q$  اعمال کنیم در جهت میدان  $\vec{E}$  است (شکل ۲).  
این نکته برای موردهای زاویه‌دار هم صادق است (شکل ۳).



[در شکل‌های روبرو  $F$  نیروی ما و  $F_E$  نیروی وارد بر ذره از سوی میدان  $\vec{E}$  است.]

#### نکته:

در (۵-۲) اگر جهت حرکت بار در جهت نیرویی باشد که می‌خواهیم کار آن را حساب کنیم، یعنی یا  $F$  یا  $F_E$ ، آنگاه  $\cos\theta = 1$  می‌شود و اگر جهت حرکت بار در خلاف جهت نیرویی باشد که می‌خواهیم کار آن را حساب کنیم آنگاه  $\cos\theta = -1$  خواهد شد.



$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$$

#### (۶-۲) اختلاف پتانسیل الکتریکی

$\Delta V$ : اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه از فضا (بر حسب  $V$  ولت)

$\Delta U$ : تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یکای بار الکتریکی مثبت هنگامی که از نقطه‌ی ۱ به نقطه‌ی ۲ جابه‌جا می‌شود (بر حسب  $J$ )

$q$ : یکای بار الکتریکی مثبت (بر حسب  $C$ )

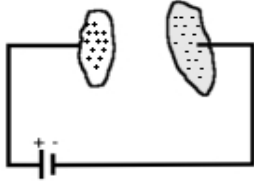
#### نکته:

چنانچه در یک مساله  $E$  و  $d$  را دادند و  $\Delta V$  را خواستند، با ترکیب سه رابطه‌ی (۵-۲)، (۵-۲) و (۶-۲) که به ترتیب عبارتند از  $\Delta U = W$ ،  $W = qEd \cos\theta$ ، و  $\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$  خواهیم داشت:

$$\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{qEd \cos\theta}{q} \quad \longrightarrow \quad \Delta V = Ed \cos\theta \quad (۶-۲)$$

(۷-۲) ظرفیت هر خازن دلخواه

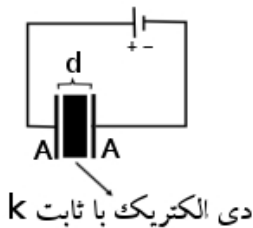
$$C = \frac{q}{V}$$



C: ظرفیت خازن (بر حسب F (فاراد) یا  $\frac{C}{V}$  (کولن بر ولت))  
 q: بار ذخیره شده در هر یک از صفحه‌های خازن (بر حسب C)  
 V: اختلاف پتانسیلی که به دو سر خازن وصل کرده‌ایم. (بر حسب V (ولت))

(۸-۲) ظرفیت خازن تخت (با به کارگیری مشخصه‌های خازن تخت)

$$C = k\epsilon_0 \frac{A}{d}$$



C: ظرفیت خازن تخت با صفحه‌های موازی (بر حسب F)  
 k: ثابت دی الکتریک (بدون یکا)  
 ε: ضریب گذردهی خلاء که برابر است با  $\frac{C}{Nm^2} \approx 8.85 \times 10^{-12}$   
 A: مساحت هر یک از صفحه‌های خازن (بر حسب  $m^2$ )  
 d: فاصله‌ی میان دو صفحه‌ی خازن (بر حسب m)

نکته:

اگر فضای میان دو صفحه خلاء یا هوا باشد ثابت دی الکتریک را  $k=1$  می‌گیریم.

(۹-۲) انرژی خازن

$$U = \frac{1}{2} qV$$

U: انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در خازن (بر حسب J)  
 q: بار ذخیره شده در هر یک از صفحه‌های خازن (بر حسب C)  
 V: اختلاف پتانسیلی که به دو سر خازن وصل کرده‌ایم (بر حسب V)

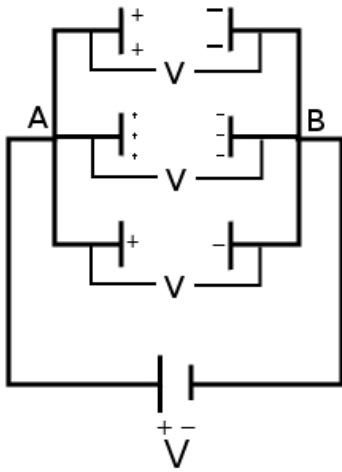
با به کارگیری رابطه‌ی (۷-۲)، یعنی  $C = \frac{q}{V}$ ، دو رابطه‌ی دیگر برای «انرژی خازن» به دست می‌آوریم

$$q = CV \rightarrow U = \frac{1}{2} CV^2 \quad (۹\text{-}۲\text{ا})$$

$$V = \frac{q}{C} \rightarrow U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \quad (۹\text{-}۲\text{ب})$$

(۱۰-۲) خازن معادل به دست آمده از به هم بستن موازی چند خازن

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$



$C_T$ : ظرفیت خازن معادل (بر حسب F (فاراد))

$C_1, C_2, C_3$ : ظرفیت خازن‌های موازی بسته (بر حسب F (فاراد))

**نکته:**

چون هر یک از خازن‌های  $C_1, C_2, C_3$  و  $C_T$  به دو سر یک مولد وصل شده‌اند پس هر کدام اختلاف پتانسیل یکسان  $V$  را از آن به دست می‌آورند، پس می‌توان بارهای ذخیره شده در خازن‌ها  $C_1, C_2, C_3$  را به این صورت بنویسیم

$$q_1 = C_1 V$$

$$q_2 = C_2 V$$

$$q_3 = C_3 V$$

**نکته:**

بار کل ذخیره شده در خازن‌ها برابر است با برابند بار ذخیره شده در سه خازن، یعنی  $q = q_1 + q_2 + q_3$ ، زیرا جای صفحه‌های خازن معادل در A و B فرض می‌شود و بار خازن  $C_T$ ، خازن معادل، درگیرنده‌ی بار هر سه خازن  $C_1, C_2, C_3$  خواهد بود. بار ذخیره شده در خازن معادل را به صورت  $q = C_T V$  نشان می‌دهیم.

**روش به دست آوردن (۱۰-۲):**

با توجه به دو نکته ای که در بالا گفتیم

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \quad \longrightarrow \quad C_T V = C_1 V + C_2 V + C_3 V \quad \longrightarrow \quad C_T V = (C_1 + C_2 + C_3) V$$

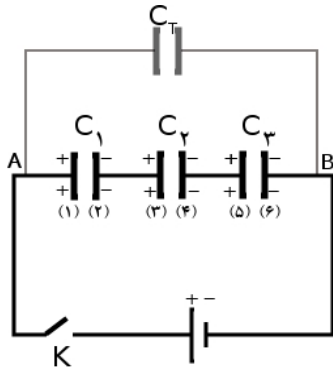
$$\longrightarrow \quad C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

**نکته:**

ظرفیت خازن معادل مجموعه‌ای از خازن‌ها که به طور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند، برابر با برابند ظرفیت خازن هاست؛ همچنین ظرفیت خازن معادل از ظرفیت هر یک از خازن‌ها بیشتر است.

(۱۱-۲) خازن معادل به دست آمده از به هم بستن متوالی چند خازن

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

 $C_T$ : ظرفیت خازن معادل (بر حسب F (فاراد)) $C_1, C_2, C_3$ : ظرفیت خازن‌های متوالی بسته (بر حسب F (فاراد))

در شکل روبرو، هنگامی که کلید K را می‌زنیم بار  $+q$  توسط پایانه‌ی مثبت روی صفحه‌ی (۱) انباشته می‌شود. بار انباشته شده روی صفحه‌ی (۱) مایه‌ی القای بار  $-q$  روی صفحه‌ی (۲) می‌شود و بارهای مثبت را به دورترین جا، یعنی صفحه‌ی (۳) می‌فرستد. بار انباشته شده روی صفحه‌ی (۳) مایه‌ی القای بار  $-q$  روی صفحه‌ی (۴) می‌شود و بارهای مثبت را به صفحه‌ی (۵) می‌راند (به مقدار  $+q$ ). از سوی دیگر نیز پایانه‌ی منفی نیز تعدادی الکترون با باری به مقدار  $-q$  به (۶) می‌فرستد تا بار صفحه‌ی (۶) با بار صفحه‌ی (۵) از نظر مقدار (و نه علامت) برابر شود. در این حالت، پتانسیل صفحه‌ی (۶) با پتانسیل پایانه‌ی منفی و پتانسیل صفحه‌ی (۱) با پتانسیل پایانه‌ی مثبت برابر خواهد شد.

**نکته:**

با توجه به توضیحی که در بالا داده شد، بار ذخیره شده در هر یک از خازن‌های  $C_1, C_2, C_3$  برابر است. برای خازن معادل  $C_T$ ، که صفحه‌های آن در نقطه‌های A و B فرض می‌شود، بارهای صفحه‌های (۲) و (۳) و همچنین بارهای صفحه‌های (۴) و (۵) یکدیگر را خنثی می‌کنند (زیرا دو به دو بارهایی برابر و با علامت مخالف دارند) و بار صفحه‌های آن برابر با مقدار زیر به دست می‌آید:

$$q = q_1 = q_2 = q_3 \quad (۱۱-۲)$$

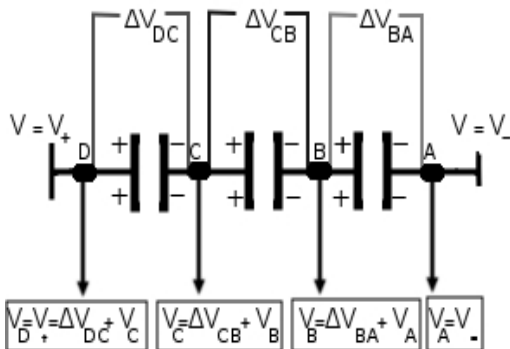
**نکته:**

اختلاف پتانسیل دو سر مدار برابر با مجموع اختلاف پتانسیل‌های دو سر هر یک از خازن‌هاست، یعنی

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (۱۱-۲)$$

در این رابطه،  $V_1, V_2, V_3$  به ترتیب اختلاف پتانسیل خازن‌های ۱ و ۲ و ۳ هستند.

اگر  $V_1, V_2, V_3$  را به ترتیب با  $\Delta V_{DC}, \Delta V_{CB}, \Delta V_{BA}$  نشان دهیم، با توجه به شکل روبرو (این شکل را به دقت واریسی کنید)، و اثبات زیر رابطه‌ی (۱۱-۲) به دست می‌آید.



$$V_{کل} = V_+ - V_-$$

$$\Delta V_{کل} = V_D - V_A$$

$$\Delta V_{کل} = \Delta V_{DC} + V_C - V_A$$

$$\Delta V_{کل} = \Delta V_{DC} + \Delta V_{CB} + V_B - V_A$$

$$\Delta V_{کل} = \Delta V_{DC} + \Delta V_{CB} + \Delta V_{BA} + V_A - V_A$$

$$\Delta V_{کل} = \Delta V_{DC} + \Delta V_{CB} + \Delta V_{BA}$$

**روش به دست آوردن (۱۱-۲):**

با به کارگیری رابطه‌ی (۷-۲)، یعنی  $C = \frac{q}{V}$ ، داریم:

$$V_1 = \frac{q_1}{C_1}, V_2 = \frac{q_2}{C_2}, V_3 = \frac{q_3}{C_3}, V = \frac{q}{C_T}$$

آنها را در (۱۱-۲) جایگذاری می‌کنیم،

$$\frac{q}{C_T} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} + \frac{q_3}{C_3}$$

در پایان با به کارگیری (۱۱-۲) رابطه‌ی (۱۱-۲) به دست می‌آید؛

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

**نکته:**

در متوالی بستن خازن‌ها، بار خازن معادل برابر با بار هر یک از خازن‌هاست.

**نکته:**

با توجه به (۱۱-۲)، ظرفیت خازن معادل از ظرفیت کوچک‌ترین ظرفیت خازن‌های متوالی بسته هم کوچک‌تر است.