

## ترمز دینامیکی یا ترمز مقاومتی اینورتر

ترمز دینامیکی یا ترمز مقاومتی اینورتر یکی از اجزای ضروری در بسیاری از سیستم‌های مبتنی بر اینورتر است، به‌ویژه در مواردی که کاهش سرعت یا توقف سریع موتور نیاز است. این تجهیز نقش حیاتی در مدیریت انرژی بازگشتی، حفاظت از تجهیزات، و بهبود کارایی سیستم ایفا می‌کند.

در این مقاله توضیحات مختصری در خصوص اجزا واحد ترمز مقاومتی که شامل یونیت بریک و مقاومت ترمز و نحوه انتخاب آنها می‌باشد خدمت شما ارائه داده خواهد شد.

### اجزای واحد ترمز مقاومتی اینورتر

#### 1. ماژول ترمز (Braking Unit)

- ماژول ترمز (یونیت بریک) معمولاً شامل ترانزیستورهای قدرت (IGBT) و مدارهای کنترلی است که ولتاژ باس DC اینورتر را پایش می‌کند.
- هنگامی که ولتاژ باس از حد معینی فراتر رود، ماژول ترمز فعال شده و انرژی بازگشتی را به مقاومت ترمز هدایت می‌کند.
- ماژول ترمز به دو صورت داخلی و خارجی ارائه می‌گردد که در درایوهای **DEIXI** حرف B در نام درایو نشان دهنده یونیت بریک داخلی می‌باشد در مدل‌هایی که یونیت بریک داخلی ندارند می‌توان با نصب واحد ترمز خارجی با نام تخصصی CDI-BR در توانهای مختلف از این قابلیت استفاده کرد.

### دپارتمان اتوماسیون پارس نیروسان

#### 2. مقاومت ترمز (Braking Resistor)

- وظیفه اصلی مقاومت ترمز، جذب انرژی الکتریکی بازگشتی و تبدیل آن به گرما است.
- این مقاومت باید به گونه‌ای انتخاب شود که توان و انرژی بازگشتی را تحمل کند، بدون آنکه دچار آسیب شود.
- طراحی آن اغلب به گونه‌ای است که گرمای تولیدشده به‌خوبی دفع شود (معمولاً با استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده یا پره‌های فلزی).

### فواید استفاده از ترمز مقاومتی در اینورترها:

#### 1. مدیریت انرژی بازگشتی (Regenerative Energy)

- در هنگام کاهش سرعت یا توقف موتور، انرژی جنبشی موتور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و به باس DC اینورتر بازمی‌گردد.
- اگر این انرژی به درستی مدیریت نشود، باعث افزایش بیش‌ازحد ولتاژ (**Overvoltage**) در باس می‌شود که ممکن است به اینورتر یا سایر تجهیزات آسیب برساند.
- مقاومت ترمز این انرژی اضافی را جذب کرده و به گرما تبدیل می‌کند و از بروز مشکلات جلوگیری می‌کند.

2. **حفاظت از تجهیزات الکتریکی:**  
افزایش ولتاژ در باس DC ممکن است باعث خرابی خازن‌ها، IGBT، ماسفت‌ها، یا مدارهای داخلی اینورتر شود.
  - استفاده از ترمز مقاومتی، ولتاژ را در محدوده امن نگه می‌دارد و از این تجهیزات محافظت می‌کند.
3. **کاهش زمان توقف موتور:**  
در بسیاری از کاربردها، توقف سریع و کنترل‌شده موتور ضروری است. بدون ترمز مقاومتی، موتور زمان بیشتری برای توقف نیاز دارد، که ممکن است کارایی سیستم را کاهش دهد.
  - مقاومت ترمز باعث می‌شود که انرژی اضافی به سرعت تخلیه شده و موتور سریع‌تر متوقف شود.
4. **افزایش ایمنی:**  
در سیستم‌هایی مانند آسانسورها، جرثقیل‌ها، و نوار نقاله‌ها، توقف کنترل‌نشده یا ناگهانی موتور ممکن است خطرات جدی ایجاد کند.
  - ترمز مقاومتی با کاهش سرعت نرم و کنترل‌شده، از خطرات احتمالی جلوگیری می‌کند.
5. **کاربردهای با چرخه کاری بالا:**  
در صنایعی که توقف و شروع مکرر موتور رخ می‌دهد (مانند دستگاه‌های بسته‌بندی، برش یا CNC)، مقاومت ترمز مانع از داغ شدن بیش‌ازحد اینورتر و موتور شده و دوام سیستم را افزایش می‌دهد.
6. **افزایش بهره‌وری انرژی:**  
در بسیاری از سیستم‌ها، ترمز مقاومتی انرژی بازگشتی را مدیریت می‌کند و در برخی موارد امکان بازیابی این انرژی برای استفاده مجدد نیز فراهم می‌شود.

## نحوه نصب مقاومت ترمز اینورتر پارس نیروسان

این تجهیز در هنگام کار گرمای زیادی تولید میکند و همچنین عموماً فاقد فن برای خنک کاری است، لذا مهمترین مسئله در نصب مقاومت ترمز اینورتر، نصب بصورتی است که گرمای تولیدی مقاومت به سهولت تخلیه شود. بنابراین:

- ضروری است که مقاومت ترمز در محیطی خارج از تابلو اینورتر نصب شود.
- با توجه به شدت حرارت تولیدی، نباید مواد اشتعال پذیر نزدیک آن قرار داشته باشد.
- مقاومت ترمزی اینورتر را میتوانید بصورت افقی یا عمودی نصب کنید.
- توجه داشته باشید که کابل‌های مربوطه در معرض گرمای تولیدی آن نباشند. بعنوان مثال در حالت نصب عمودی، محل اتصال کابل‌های مقاومت ترمز حتماً به سمت پایین باشد.
- اگر چند مقاومت در بالای یکدیگر نصب می‌شوند گرمای تولیدی یک مقاومت ترمز، نباید دیگری را تحت تاثیر قرار دهد.
- درصورت نصب مقاومت ترمز اینورتر بر روی یک هیت سینک، توان قابل تحمل آن می‌تواند تا بیش از ۱۵۰٪ افزایش یابد.

## انتخاب مقاومت ترمز اینورتر

انتخاب مقاومت ترمز درایو باید بر مبنای مقدار انرژی برگشتی محاسبه شود و محاسبه مقدار انرژی برگشتی باید بر اساس مشخصات مکانیکی بار در حال حرکت مانند مقدار اینرسی، سرعت حرکت اولیه، سرعت ثانویه، ضرایب اصطکاک، جریان مصرفی و ... صورت بگیرد. اما این روش در کاربردهای معمولی چندان ساده و عملی نیست.

### 1. جریان ترمز

$$I_B = (1/2 \sim 3/2) * I$$

- به طور عمومی، جریان ترمز  $I \times 1/2$  (نصف) از جریان نامی موتور است.
- گشتاور ترمز تولید شده تقریباً برابر با نرخ گشتاور موتور است. بنابراین، جریان ترمز مناسب  $I_B$  باید بر اساس اینرسی بار و زمان توقف انتخاب شود. هر چه اینرسی بار بیشتر و زمان توقف کوتاهتر باشد، جریان ترمز انتخابی  $I_B$  بیشتر می شود.
- با توجه به جریان ترمز، مقدار مقاومت را نسبت به واحد ترمز می توان انتخاب کرد. پیک جریان واحد ترمز (فقط واحد ترمز DELIXI مورد نظر می باشد) بزرگتر از  $I_B$  است.

### 2. مقدار اهم مقاومت ترمز (Resistance Value)

- مقدار مقاومت باید بین حداقل و حداکثر مقدار مجاز اینورتر باشد.
- حداقل مقدار مقاومت از روی جریان ماکزیمم مازول ترمز محاسبه می شود.
- مقدار اهم بالا باعث کاهش اثر ترمز و مقدار بسیار پایین می تواند به آسیب دیدگی سیستم یا اینورتر منجر شود.

$$R_B = U / I_B$$

( in S2 and T2 Series,  $U = 400V$ ; in T4 Series,  $U = 800V$ )

### 3. مقدار توان مقاومت ترمز

$$P_B = K * U * U / R_B$$

در فرمول،  $K$  (ضریب ترمز) با دامنه 0.1 تا 0.5 است که متناسب با هر نوع کاربری بایستی تعیین بشود. بعنوان مثال:

در کارهایی که فقط گاهی ممکن است مقاومت در مدار باشد.  $K=0.1$

در کاربری های معمولی  $K = 0.1 \sim 0.2$

$K = 0.2$  در کاربری سانتریفیوژ

$K = 0.2$  در حرکت طولی جرثقیل

$K = 0.5$  در حرکت فلاپ جرثقیل (با فرض ارتفاع بیش از 100 متر)

$K = 0.5$  در کاربری رول جمع کن/بازکن

## چرخه کاری (Duty Cycle)

- چرخه کاری نشان دهنده مدت زمان استفاده از مقاومت نسبت به کل زمان عملکرد است.
- برای محاسبه چرخه کاری

$$\text{Duty Cycle (\%)} = (T_{\text{on}} / T_{\text{total}}) \times 100$$

- $T_{\text{on}}$ : مدت زمانی که مقاومت ترمز فعال است (زمان مصرف انرژی بازگشتی).
- $T_{\text{total}}$ : کل زمان چرخه (فعال بودن و خاموش بودن مقاومت).

## نکته‌های کلیدی چرخه کاری:

1. چرخه کاری پایین:
  - مقاومت کمتر فعال می‌شود.
  - سیستم زمان بیشتری برای خنک شدن دارد.
  - مناسب برای کاربردهایی با توقف‌های محدود یا با انرژی کم.
2. چرخه کاری بالا:
  - مقاومت بیشتر فعال می‌شود.
  - سیستم نیاز به طراحی بهتر برای مدیریت گرما دارد.
  - مناسب برای کاربردهایی با توقف‌های مکرر و بارهای سنگین.

## ارتباط چرخه کاری با توان مقاومت

توان واقعی مقاومت (Effective Power) در چرخه کاری مشخص با توان نامی مقاومت ( $P_{\text{rated}}$ ) به این صورت محاسبه می‌شود:

$$P_{\text{effective}} = P_{\text{rated}} \times (\text{Duty Cycle} / 100)$$

- مثال: اگر توان نامی مقاومت  $P_{\text{rated}} = 100 \text{ W}$  و چرخه کاری 30% باشد

$$P_{\text{effective}} = (30 / 100) \times 100 = 30 \text{ W}$$

- این بدان معناست که مقاومت تنها می‌تواند به صورت مداوم 30W انرژی جذب کند.

## محاسبه چرخه کاری در سیستم‌های واقعی

برای محاسبه چرخه کاری، موارد زیر را در نظر بگیرید:

1. زمان ترمز ( $T_{on}$ ): مدت زمانی که موتور به کاهش سرعت نیاز دارد و انرژی بازگشتی به مقاومت منتقل می‌شود.
2. زمان خنک‌سازی ( $T_{off}$ ): مدت زمانی که مقاومت غیر فعال است و سیستم در حال خنک شدن است.
3. کل زمان چرخه ( $T_{total}$ ): مجموع زمان فعال و غیر فعال:

$$T_{on} + T_{off} = T_{total}$$

## انتخاب مقاومت با چرخه کاری مناسب

1. چرخه کاری مورد نیاز را محاسبه کنید:
  - اگر  $T_{on}$  بیشتر است، چرخه کاری بالاتری مورد نیاز است.
  - برای توقف‌های مکرر (مثل آسانسورها یا نوار نقاله‌ها)، چرخه کاری حدود 50% ~ 40% یا بیشتر نیاز است.
2. توان مقاومت را تطبیق دهید:
  - اگر چرخه کاری بالا باشد، ممکن است به مقاومتی با توان بیشتر نیاز داشته باشید.
3. تهویه و خنک‌سازی را در نظر بگیرید:
  - برای چرخه کاری بالا، استفاده از مقاومت‌هایی با سیستم‌های خنک‌کننده (مثل فن یا هیت‌سینک) ضروری است.

## نکات مهم در انتخاب مقاومت ترمز

- دمای کارکرد: مقاومت‌های ترمز گرمای زیادی تولید می‌کنند، بنابراین مقاومت انتخابی باید بتواند دمای بالا را تحمل کند.
- ایمنی: اگر بارهای سنگین دارید، حتماً از مقاومت‌هایی با محافظ حرارتی استفاده کنید.
- اندازه فیزیکی: برای نصب در فضای محدود، اندازه مقاومت را نیز در نظر بگیرید.
- مارک و کیفیت: از برندهای معتبر و مقاوم استفاده کنید تا عمر طولانی و عملکرد ایمن داشته باشید.

قابل ذکر است که فرمول محاسبه مقاومت ترمز اینورتر که در بالا اشاره شد، بر اساس یک برآورد است. مقدار نهایی مقاومت ترمز مورد نیاز شما وابستگی زیادی در وهله اول به کاربری و در وهله دوم به کیفیت مقاومت ترمز مورد استفاده خواهد داشت.

## جدول انتخاب مقاومت ترمز اینورتر سری EM60

مقاومت پیشنهادی در جدول زیر بر اساس جریان  $I \approx \frac{1}{2}$  و ضریب  $K = 0.1 \sim 0.5$  می باشد. برای بارهایی با اینرسی بالاتر، متناسب با فرمولهای فوق ضریب K را تا 0.5 میتوانید محاسبه نمایید - که توان مقاومت پیشنهادی 5 برابر میشود-

| Type of Frequency inverter   | Type of Brake Unit                   | Brake Resistance Value ( $\Omega$ ) | Brake Resistance Power (W) |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <b>S2(single-phase 220V)</b> |                                      |                                     |                            |
| CDI-EM60G0R4S2               | External Braking Unit                | 400                                 | 80                         |
| CDI-EM60G0R4S2B              | Built-in, allowable Max. Current 8A  | 400                                 | 80                         |
| CDI-EM60G0R75S2              | External Braking Unit                | 200                                 | 160                        |
| CDI-EM60G0R75S2B             | Built-in, allowable Max. Current 8A  | 200                                 | 160                        |
| CDI-EM60G1R5MS2              | External Braking Unit                | 160                                 | 200                        |
| CDI-EM60G1R5MS2B             | Built-in, allowable Max. Current 8A  | 160                                 | 200                        |
| CDI-EM60G1R5S2               | External Braking Unit                | 120                                 | 250                        |
| CDI-EM60G1R5S2B              | Built-in, allowable Max. Current 15A | 120                                 | 250                        |
| CDI-EM60G2R2S2               | External Braking Unit                | 80                                  | 400                        |
| CDI-EM60G2R2S2B              | Built-in, allowable Max. Current 15A | 80                                  | 400                        |
| <b>T4(Three-phase 380V)</b>  |                                      |                                     |                            |
| CDI-EM60G0R75T4B             | Built-in, allowable Max. Current 10A | 600                                 | 160                        |
| CDI-EM60G1R5T4B              | Built-in, allowable Max. Current 10A | 400                                 | 250                        |
| CDI-EM60G2R2T4B              | Built-in, allowable Max. Current 15A | 250                                 | 400                        |
| CDI-EM60G3R7T4B              | Built-in, allowable Max. Current 25A | 150                                 | 600                        |
| CDI-EM60G5R5T4B              | Built-in, allowable Max. Current 40A | 100                                 | 1000                       |
| CDI-EM60G7R5T4B              | Built-in, allowable Max. Current 40A | 75                                  | 1200                       |
| CDI-EM60G011T4B              | Built-in, allowable Max. Current 50A | 50                                  | 2000                       |
| CDI-EM60G015T4B              | Built-in, allowable Max. Current 75A | 40                                  | 2500                       |

## جدول انتخاب مقاومت ترمز سری E102

مقاومت پیشنهادی در جدول زیر بر اساس جریان  $I \approx \frac{1}{2}$  و ضریب  $K = 0.1 \sim 0.5$  می باشد. برای بارهایی با اینرسی بالاتر، متناسب با فرمولهای فوق ضریب K را تا 0.5 میتوانید محاسبه نمایید - که توان مقاومت پیشنهادی 5 برابر میشود-

| Type of Frequency inverter | Type of Brake Unit                   | Brake Resistance Value ( $\Omega$ ) | Brake Resistance Power (W) |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| T4 (Three-phase 380V)      |                                      |                                     |                            |
| CDI-E102G0R75T4B           | Built-in, allowable Max. Current 8A  | 600                                 | 160                        |
| CDI-E102G1R5T4B            | Built-in, allowable Max. Current 8A  | 400                                 | 250                        |
| CDI-E102G2R2T4B            | Built-in, allowable Max. Current 15A | 250                                 | 400                        |
| CDI-E102G3R7T4B            | Built-in, allowable Max. Current 15A | 150                                 | 600                        |
| CDI-E102G5R5/P7R5T4B       | Built-in, allowable Max. Current 40A | 100                                 | 1000                       |
| CDI-E102G7R5/P011T4B       | Built-in, allowable Max. Current 40A | 75                                  | 1200                       |
| CDI-E102G011/P015T4BL      | Built-in, allowable Max. Current 50A | 50                                  | 2000                       |
| CDI-E102G015/P018.5T4BL    | Built-in, allowable Max. Current 75A | 40                                  | 2500                       |
| CDI-E102G018.5/P022T4B     | Built-in, allowable Max. Current 75A | 30                                  | 4000                       |
| CDI-E102G018.5/P022T4      | CDI-BR-50                            | 30                                  | 4000                       |
| CDI-E102G022/P030T4B       | Built-in, allowable Max. Current 75A | 30                                  | 4000                       |
| CDI-E102G022/P030T4        | CDI-BR-50                            | 20                                  | 6000                       |
| CDI-E102G030/P037T4        | CDI-BR-50                            | 20                                  | 6000                       |
| CDI-E102G037/P045T4        | CDI-BR-100                           | 16                                  | 9000                       |
| CDI-E102G045/P055T4        | CDI-BR-100                           | 13.6                                | 9000                       |
| CDI-E102G055/P075T4        | CDI-BR-100                           | 20/2                                | 12000                      |
| CDI-E102G075/P093T4        | CDI-BR-200                           | 13.6/2                              | 18000                      |
| CDI-E102G093/P110T4        | CDI-BR-200                           | 20/3                                | 18000                      |
| CDI-E102G110/P132T4        | CDI-BR-200                           | 20/3                                | 18000                      |
| CDI-E102G132/P160T4        | CDI-BR-200                           | 20/4                                | 24000                      |
| CDI-E102G160/P185T4        | CDI-BR-400                           | 13.6/4                              | 36000                      |
| CDI-E102G185/P200T4        | CDI-BR-400                           | 13.6/5                              | 45000                      |
| CDI-E102G200/P220T4L       | CDI-BR-400                           | 13.6/5                              | 45000                      |
| CDI-E102G220T4L            | CDI-BR-400                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E102G250/P280T4L       | CDI-BR-400                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E102G280/P315T4L       | CDI-BR-400                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E102G315/P355T4L       | CDI-BR-400                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E102G355/P375T4L       | CDI-BR-600                           | 13.6/7                              | 63000                      |
| CDI-E102G375T4L            | CDI-BR-600                           | 13.6/7                              | 63000                      |
| CDI-E102G400T4L            | CDI-BR-600                           | 13.6/8                              | 72000                      |
| CDI-E102G500T4L            | CDI-BR-600                           | 13.6/9                              | 81000                      |
| CDI-E102G630T4L            | 2*CDI-BR-400                         | 13.6/10                             | 90000                      |

## جدول انتخاب مقاومت ترمز سری E180

مقاومت پیشنهادی در جدول زیر بر اساس جریان  $I \approx \frac{1}{2}$  و ضریب  $K = 0.1 \sim 0.5$  می باشد. برای بارهایی با اینرسی بالاتر، متناسب با فرمولهای فوق ضریب K را تا 0.5 میتوانید محاسبه نمایید - که توان مقاومت پیشنهادی 5 برابر میشود-

| Type of Frequency inverter | Type of Brake Unit                                                   | Brake Resistance Value ( $\Omega$ ) | Brake Resistance Power (W) |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| T4 (Three-phase 380V)      |                                                                      |                                     |                            |
| CDI-E180G0R75T4B           | Built-in, allowable Max. Current 10A                                 | 600                                 | 160                        |
| CDI-E180G1R5T4B            | Built-in, allowable Max. Current 10A                                 | 400                                 | 250                        |
| CDI-E180G2R2T4B            | Built-in, allowable Max. Current 15A                                 | 250                                 | 400                        |
| CDI-E180G3R7/P5R5T4B       | Built-in, allowable Max. Current 25A                                 | 150                                 | 600                        |
| CDI-E180G5R5MT4B           | Built-in, allowable Max. Current 40A                                 | 100                                 | 1000                       |
| CDI-E180G5R5/P7R5T4B       | Built-in, allowable Max. Current 40A                                 | 100                                 | 1000                       |
| CDI-E180G7R5/P011T4B       | Built-in, allowable Max. Current 40A                                 | 75                                  | 1200                       |
| CDI-E180G011MT4B           | Built-in, allowable Max. Current 50A                                 | 50                                  | 2000                       |
| CDI-E180G011/P015T4BL      | Built-in, allowable Max. Current 50A                                 | 50                                  | 2000                       |
| CDI-E180G015/P018.5T4BL    | Built-in, allowable Max. Current 75A                                 | 40                                  | 2500                       |
| CDI-E180G018.5/P022T4      | Built-in, allowable Max. Current 50A<br>Externally-connect CDI-BR-50 | 30                                  | 4000                       |
| CDI-E180G022/P030T4        | Built-in, allowable Max. Current 50A<br>Externally-connect CDI-BR-50 | 30                                  | 4000                       |
| CDI-E180G030/P037T4        | Built-in, allowable Max. Current 75A<br>Externally-connect CDI-BR-50 | 20                                  | 6000                       |
| CDI-E180G037/P045T4        | CDI-BR-100                                                           | 16                                  | 9000                       |
| CDI-E180G045/P055T4        | CDI-BR-100                                                           | 13.6                                | 9000                       |
| CDI-E180G055/P075T4        | CDI-BR-100                                                           | 20/2                                | 12000                      |
| CDI-E180G075/P093T4        | CDI-BR-200                                                           | 13.6/2                              | 18000                      |
| CDI-E180G093/P110T4        | CDI-BR-200                                                           | 20/3                                | 18000                      |
| CDI-E180G110/P132T4        | CDI-BR-200                                                           | 20/3                                | 18000                      |
| CDI-E180G132/P160T4        | CDI-BR-200                                                           | 20/4                                | 24000                      |
| CDI-E180G160/P185T4        | CDI-BR-400                                                           | 13.6/4                              | 36000                      |
| CDI-E180G185/P200T4        | CDI-BR-400                                                           | 13.6/5                              | 45000                      |
| CDI-E180G200/P220T4L       | CDI-BR-400                                                           | 13.6/5                              | 45000                      |
| CDI-E180G220T4L            | CDI-BR-400                                                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E180G250/P280T4L       | CDI-BR-400                                                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E180G280/P315T4L       | CDI-BR-400                                                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E180G315/P355T4L       | CDI-BR-400                                                           | 13.6/6                              | 54000                      |
| CDI-E180G355/P375T4L       | CDI-BR-600                                                           | 13.6/7                              | 63000                      |
| CDI-E180G375T4L            | CDI-BR-600                                                           | 13.6/7                              | 63000                      |
| CDI-E180G400T4L            | CDI-BR-600                                                           | 13.6/8                              | 72000                      |
| CDI-E180G500T4L            | CDI-BR-600                                                           | 13.6/9                              | 81000                      |
| CDI-E180G630T4L            | 2*CDI-BR-400                                                         | 13.6/10                             | 90000                      |