

L負荷測定 / Inductive Load Test

1. L負荷測定とは What is Inductive Load Test ?

誘導負荷 (L負荷) においてスイッチング動作を行った場合、素子はターンオフするとき過渡的にインダクタンスにより過大なスパイク電圧を受ける。この時の電圧と電流によるデバイスへのストレスは、スイッチングスピード (立ち上がり勾配dv/dt) の速いデバイスほど大きく、L負荷スイッチングでのデバイス破壊の要因となっている。また、インダクタンスに蓄えられたエネルギー ($E=1/2LI^2$) が二次降伏を通してデバイスに加えられることから、一定エネルギーに耐えられないデバイスは試験途中でエネルギー破壊を起こすことになる。

L負荷試験の目的の一つは前述のスイッチングの立ち上がり勾配時のスイッチング耐量試験であり、もう一つは後述のエネルギー耐量試験である。当社のL負荷試験器はゲート電圧とゲート抵抗 (Rg) により立ち上がり勾配を変え、スイッチング破壊耐量とエネルギー破壊耐量の測定を可能としている。

When switching operation is performed to the inductive load, during the turn off of the devices, it receives the excess spike voltage due to excessive inductance. The stress to the device, due to both the voltage and current during this phenomenon, will be significantly large for the devices whose switching speed (rising gradient dv/dt) is larger. The device will be destroyed due to the inductive load (L-load) switching. Further, due to the secondary breakdown as a result of the energy ($E=1/2LI^2$) to the inductance, the devices which cannot withstand with the certain amount of energy, causes the device breakdown due to energy failure, during the testing.

The first objective of inductive load testing (L-Load), is the switching breakdown testing during the rising gradient of switching before. The second objective is the energy breakdown testing later. The CATS Inductive Load Tester adapts the principle of changing the rising gradient due to the gate voltage and gate resistance (Rg). It is also possible to measure the amount of switching breakdown and energy breakdown.

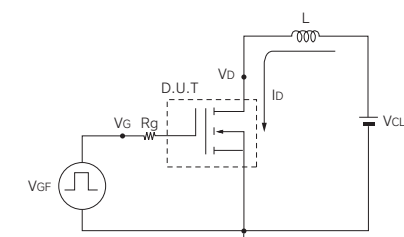


fig-1 L負荷試験基本測定回路

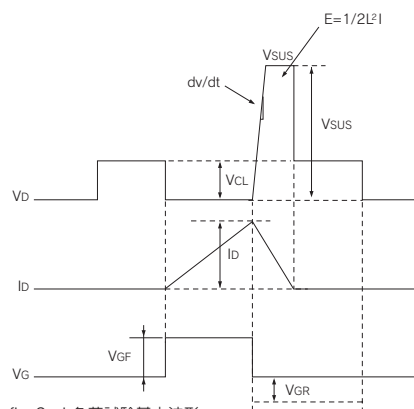


fig-2 L負荷試験基本波形

2. ストレスエネルギーの計算 Calculation of Stress Energy

コイルに蓄積されるエネルギーを E とすると、

If the energy applied to the coil is considered as E,

$$E=1/2LI^2$$

使用コイルを1mH、素子に流す電流を10A とすると、

If the coil of 1mH and the current of 10A is applied to the device,

$$\begin{aligned} E &= 1/2LI^2 \\ &= 1/2 \cdot 1m \cdot 10^2 \\ &= 50m [J] \end{aligned}$$

基本測定回路のVCLの設定により素子に印加されるエネルギーが多少変わる。

With the setting of VCL (forcing voltage) of the fundamental measurement circuit, the energy applied to the devices may be changed by a small amount.

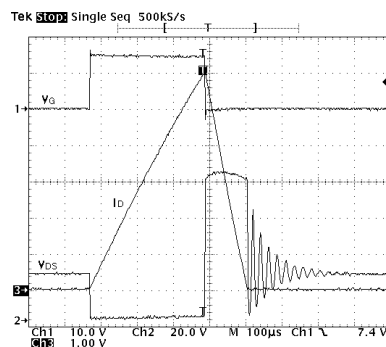


fig-3 MOS-FETのL負荷測定波形

3. スwitchングスピードの影響 Influence of Switching Speed

ゲートドライブを速くし、Rgを小さくするとスイッチングスピードも速くなりスパイク電圧VSUSの立ち上がりdv/dtが上昇する。素子にかかるトータルエネルギーは同じでも瞬間最大エネルギー EP、EP' を比較すると、Rgを小さくしスパイク電圧VSUSのdv/dtが大きく、瞬間最大エネルギーも大きいことがわかる (fig-5)。また、短い時間にエネルギーが集中することから、Rgが小さくスイッチングスピードを上げた方が、熱的にも不利であり素子に対してダメージが大きいと予想できる。

By hastening the gate drive, and by lowering the Rg, the switching speed also will be become faster, the rising dv/dt of spike voltage VSUS also increases. Even if the total energy applied to the devices remains same, when the EP, EP' of instantaneous maximum energy is compared, it can be understood that by making the Rg smaller and the dv/dt of spike voltage VSUS (sustaining voltage) also becomes bigger along with the big change in instantaneous maximum energy (fig-5). Further, by compiling the energy at a shorter period, if the switching speed is increased at a smaller Rg, there can be a disadvantage due to temperature resulting in the bigger damage to the devices.

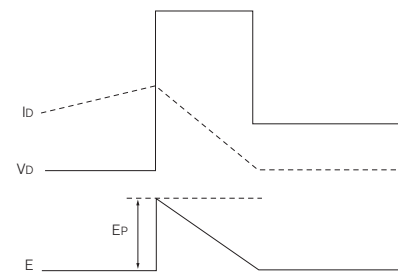


fig-4 Rgを小さくしスイッチングスピードを速くした場合

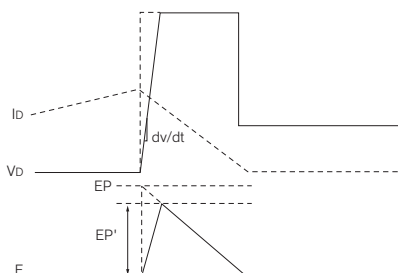


fig-5 Rgを大きくしスイッチングスピードを遅くした場合

4. 誘導負荷 (コイル) について
Regarding the Inductance Coil

4-1 コイルの理想条件
Idea condition of the Coil

コイルの理想条件は、
1) 直流インピーダンス : 0
2) 浮遊容量 : 0
3) Q : ∞
4) 小型であること
などあるが、直流抵抗、巻線間の容量等は物理的現象なので、0にすることはできない。

The ideal condition of the coil is

- 1) DC Impedance : 0
- 2) Stray capacitance : 0
- 3) Q : ∞
- 4) Small in size

The DC resistance, interwinding capacity can not be made to Zero.

4-2 コイルの種類と特徴
Type of coil and characteristics

[鉄芯コイル] /Iron-core Coil

鉄芯コイルは使用するコアの能力以上に電流を流すと飽和するが、空芯に比べ直流インピーダンスが低く大きなL値まで製作できる。しかし、周波数特性が低くカットオフ時のdv/dtを論ずるには不向きといえる。

The iron-core coil has a current capacity of more than the coil, and compared to air-core, the DC impedance is lower and it is possible to have a big inductance(L) value. But, the frequency characteristics is low and during cut-off, it is said to be unsuitable for controlling dv/dt.

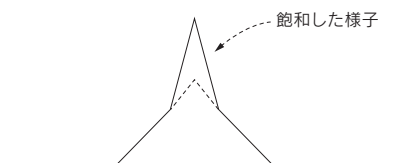


fig-6

[空芯コイル] /Air-core Coil

空芯コイルは、鉄芯コイルに比べ飽和しないが直流インピーダンスが大きく、大電流測定の場合は抵抗分を考慮し測定しなければならない。しかし、カットオフ時のdv/dtの立ち上がりは良い。

The air-core coil, compared to iron-core coil, DC impedance is larger. In case of high

current measurements, the resistance value must be considered. But, during cut-off, the rising of dv/dt is much better.

4-3. コイルの直流抵抗、巻線間容量がアバランシェ測定に及ぼす影響
Influence of DC Resistance, interwinding capacity over the avalanche measurement

[抵抗について] /Regarding the resistance
コイルに限らず、回路内の抵抗成分は "Loss=I²R" という形でコイルエネルギーが100%素子にかからなくなる。

Irrespective of coil, the coil energy of the resistance portion within the circuit, in the form of "Loss=I²R", will not be applied to the devices 100%.

[巻線間容量について] /Regarding the interwinding capacity

次にコイルの巻線間の容量が大きいときの波形を示す。

Next, the waveform, where the interwinding capacity is bigger is determined.

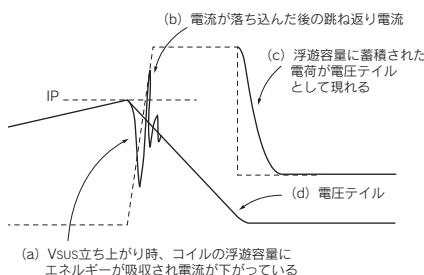


fig-7

(a) の電流の落ち込みは素子のスイッチングスピード (Vsus, dv/dtが大) が速く、耐圧が高い場合に現れやすい。また、この電流の落ち込みが出やすいコイルではVsusのdv/dtが上がらないというように、コイル/素子のスイッチングスピードと素子の耐圧が互いに関係し合っている。

(b) は (a) の落ち込みの跳ね返りだが、本来Ipを越えるはずのないId電流がIpをはるかに越えて流れている。素子Idの絶対最大定格まではいかなくても瞬間的に最大の電力がかかっているのは事実で、中には破壊するデバイスもある。

(c) (d) の電圧、電流のテイルについては特に破壊原因になるものではないが、Vsusパルスの後のリングングがやわらぐ場合がある。

このように、コイルは受動素子であるが、

インダクタンス値、直流抵抗、周波数特性、Q等を規定した上で評価しなければならない。

The fall in the current of (a) when the switching speed of devices(Vsus, dv/dt is bigger) is faster, and when the isolation voltage is higher, is easy to be expressed. Again, with the coil where the current is easy to be fallen, the coil/devices switching speed and the isolation voltage of element is mutually related, such that the dv/dt of Vsus will not rise.

Actually, (b) is the rebound of (a)'s fall, and in fact, Id (drain current) which should not have been exceeded Ip (peak current), exceeds the value of Ip distinctly. Even when the absolute maximum level of Id is reached, it is evident that instantaneously the maximum power has been applied, resulting in the failure of the devices.

Regarding the tail of voltage, current of (c) and (d), specially there is no reason for the failure, after the Vsus pulse the ringing becomes soft.

The coil is passive component as per the above, and accordingly it is necessary to evaluate it based on the inductance value, DC resistance, frequency characteristics, Q etc.