

Case 온도를 100°C로 유지하고, Gate 저항의 변화에 따른 switching loss 변화와 transient thermal impedance를 고려한 모델로 junction 온도의 변화를 관찰하기 위한 PLECS 모의 실험.

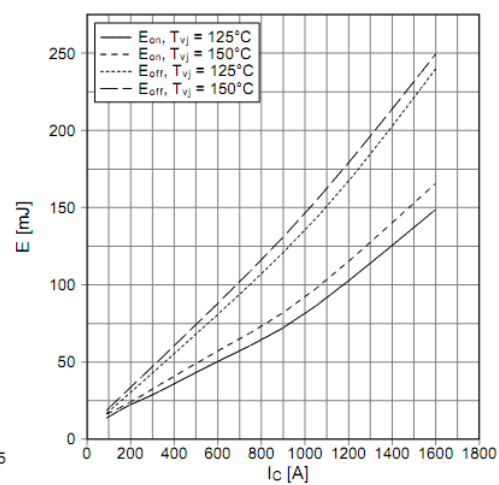
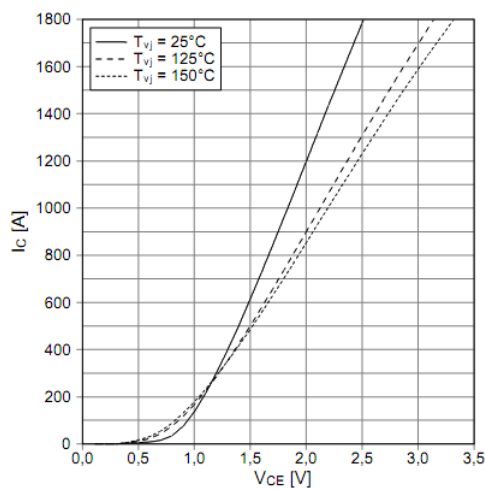
- Gate 저항 변화에 따른  $E_{on}$ ,  $E_{off}$  변화
- Transient thermal impedance 모델 삽입

## I. Gate 저항 변화에 따른 $E_{on}$ , $E_{off}$ 변화

PLECS 모의 실험에서 IGBT Module의 Loss를 고려하기 위해서 I-V 특성 곡선과 switching loss의 데이터를 이용할 수 있다. 단, PLECS에 입력할 때에는 전류 값을 기준으로 데이터를 입력하기 때문에 I-V 특성 곡선은 유의하여 데이터를 입력해야 한다.

Ausgangskennlinie IGBT-Wechselr. (typisch)  
output characteristic IGBT-inverter (typical)  
 $I_c = f(V_{CE})$   
 $V_{GE} = 15\text{ V}$

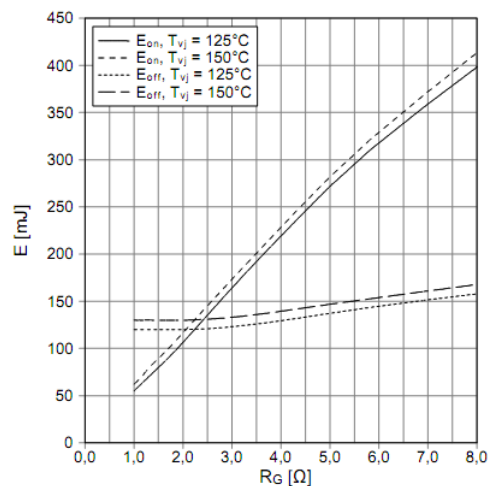
Schaltverluste IGBT-Wechselr. (typisch)  
switching losses IGBT-Inverter (typical)  
 $E_{on} = f(I_c)$ ,  $E_{off} = f(I_c)$   
 $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ ,  $R_{Gon} = 1.3\ \Omega$ ,  $R_{Goff} = 1.5\ \Omega$ ,  $V_{CE} = 600\text{ V}$



## Infineon FF900R12IE4의 Datasheet 중

Datasheet에서는 Gate 저항을 최소값을 기준으로 하여 위의 그래프를 제시한다. gate 저항의 값이 바뀌면 switching loss가 바뀐다. Gate 저항 변화로 인한  $E_{on}/E_{off}$ 의 변화는 모든 동작점에서 주어지지 않고 다음과 같이 특정 전류, 특정 전압의 동작점 [600V, 900A]에서만 주어진다.

Schaltverluste IGBT-Wechselr. (typisch)  
switching losses IGBT-Inverter (typical)  
 $E_{on} = f(R_g)$ ,  $E_{off} = f(R_g)$   
 $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ ,  $I_c = 900\text{ A}$ ,  $V_{CE} = 600\text{ V}$

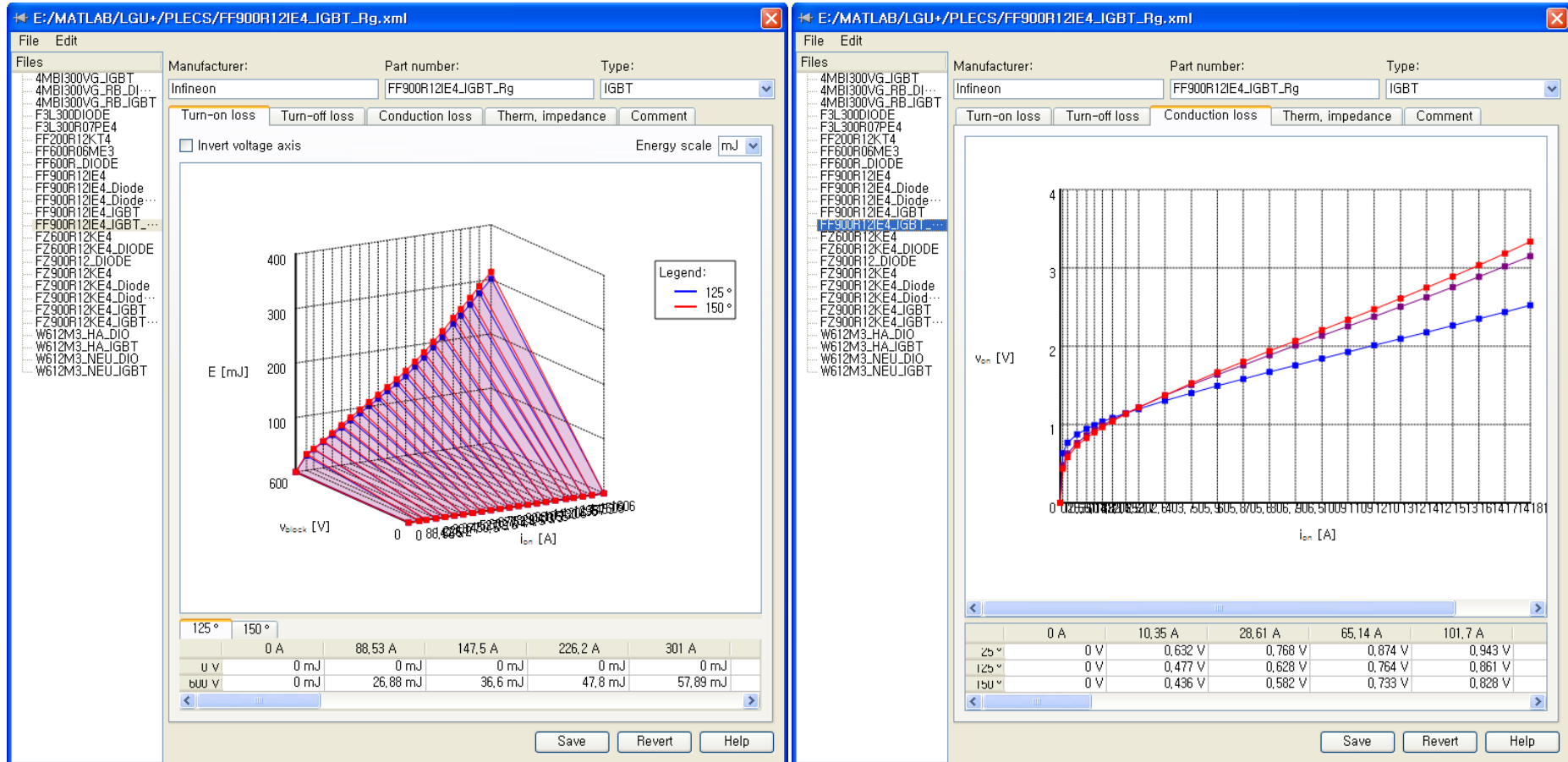


## Infineon FF900R12IE4의 Datasheet 중

제시된 동작점에서 Gate 저항 변화에 따른  $E_{on}/E_{off}$ 의 변화를 보상하였다. 다음은  $R_{g, on}$ 를 세 배,  $R_{g, off}$ 를 두 배로 설정한 경우  $E_{on}/E_{off}$ 의 변화 비율을 정리한 것이다.

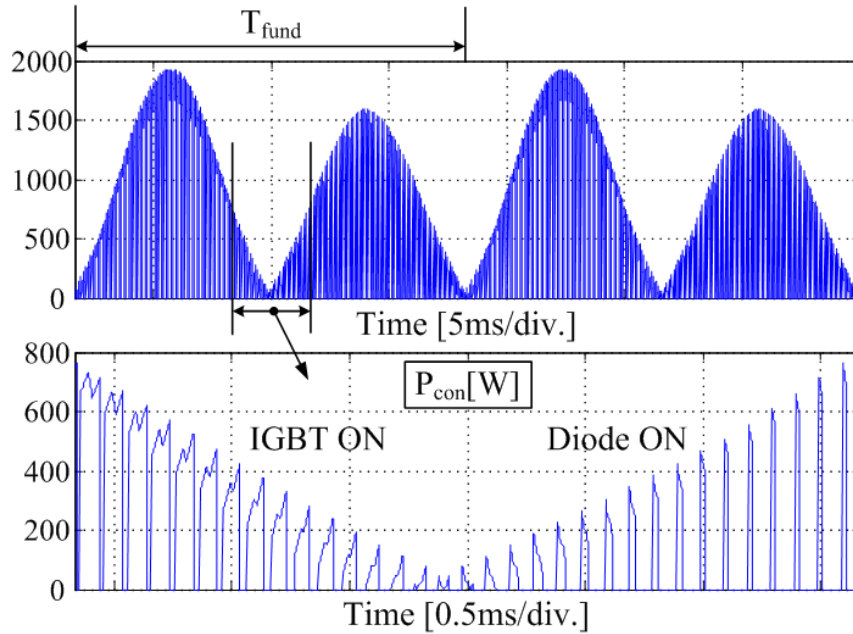
Module		Loss	Temperature [°C]	Gate Resistance [Ohm]	Energy [mJ]	Ratio
FF900R12IE4	IGBT	$E_{on}$	125	1.3	69.565	3.0753
				3.9	213.9327	
			150	1.3	79.468	2.8070
				3.9	223.0671	
	Diode	$E_{rec}$	125	1.3	80.591	0.6825
				3.9	55.0064	
			150	1.3	90.745	0.6838
				3.9	62.0536	
FZ900R12KE4	IGBT	$E_{on}$	125	1.5	49.888	2.8036
				4.5	139.87	
			150	1.5	55.670	2.7124
				4.5	151.00	
	Diode	$E_{rec}$	125	0.9	115.60	1.0418
				1.8	120.43	
			150	0.9	125.27	1.0386
				1.8	130.11	
	Diode	$E_{rec}$	125	1.5	76.075	0.7597
				4.5	57.796	
			150	1.5	87.150	0.7840
				4.5	68.330	

실제 PLECS에서는 다음과 같이 입력하여 사용할 수 있다. (사용법은 PLECS Manual 참고)



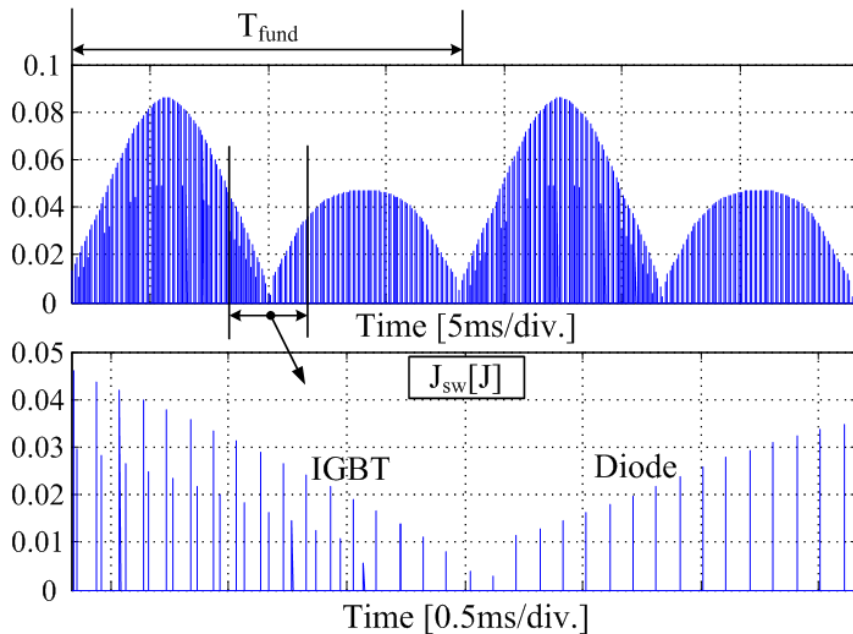
위와 같은 모델을 사용하면 다음과 같은 파형들을 얻을 수 있고, 주어진 식으로 손실을 계산할 수 있다.

## 1. 도통 손실 [W]



$$\bar{P}_{con} = \frac{1}{T_{fund}} \int_{t_1}^{t_1+T_{fund}} P_{con} dt$$

## 2. 스위칭 손실 [W]

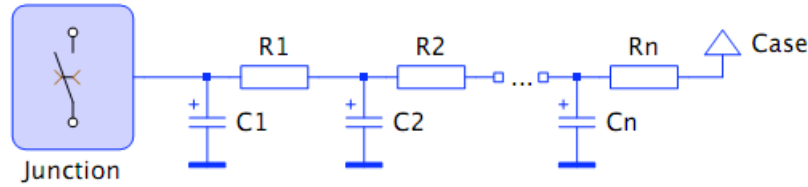


$$\bar{P}_{sw} = \frac{1}{T_{fund}} \sum J_{sw}$$

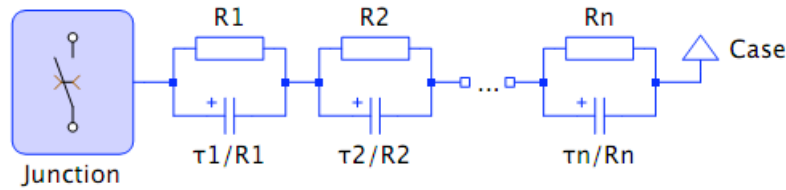
스위칭 손실을 Pulse 형태로 나타나므로 유의해서 계산해야 한다.

## II. Transient thermal impedance 모델 삽입

PLECS에서 thermal resistance 모델을 넣어 반도체 손실에 대한 junction 온도 변화도 고려할 수 있다. PLECS에서는 thermal equivalent circuit을 두 가지 제시하며 다음과 같다.



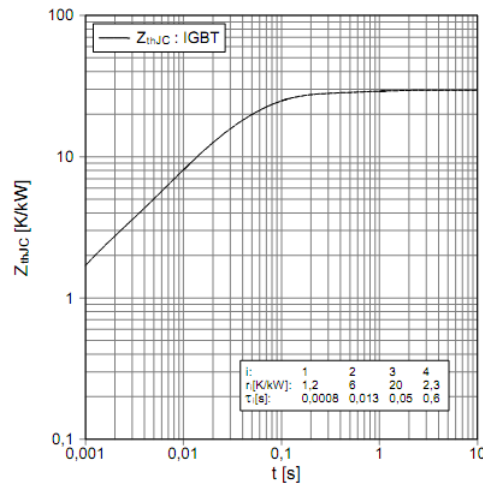
### Cauer network



### Foster network

이 중 Infineon Datasheet에는 다음과 같이 Foster network와 관련된 parameter가 나오므로 Foster network를 사용한다.

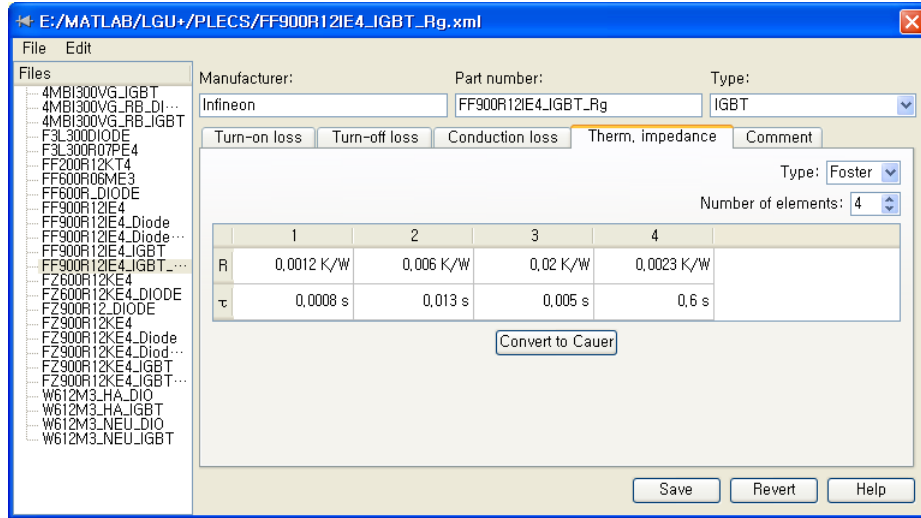
Transienter Wärmewiderstand IGBT-Wechselr.  
transient thermal impedance IGBT-inverter  
 $Z_{thJC} = f(t)$



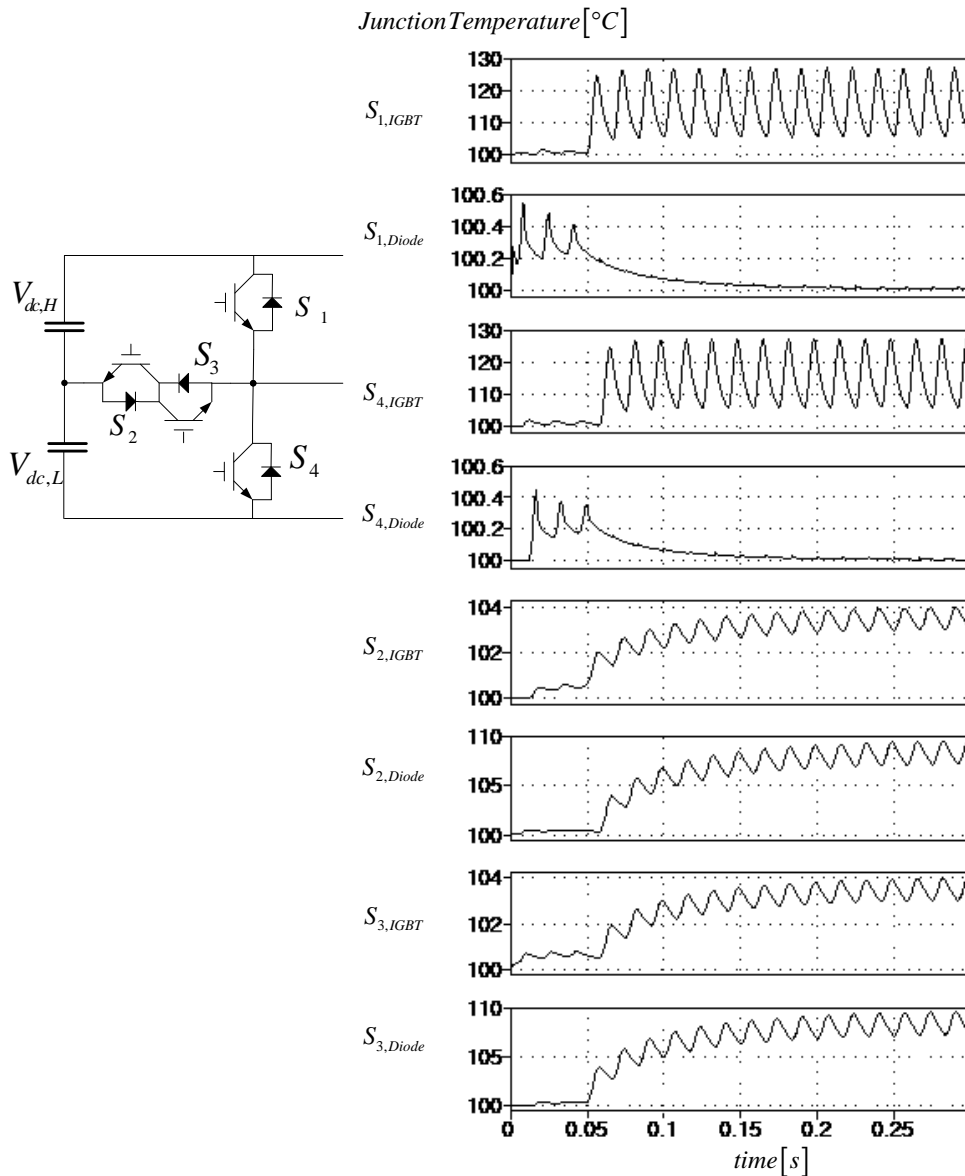
### Infineon FF900R12IE4의 Datasheet 중

IGBT와 Diode 각각에 대해서 서로 다른 thermal equivalent circuit parameter를 적용한다.

실제 PLECS에서는 다음과 같이 입력하여 사용할 수 있다.



관측한 Junction 온도는 다음과 같으며, 소자의 온도 허용 범위 내에서 동작함을 알 수 있다.



## Junction 온도 결과 정리

부하 [%]	100	50	30	20	10	5
$S_{1,IGBT} [^{\circ}C]$	128.9	112.8	107.5	104.8	102.2	101.4
$S_{1,Diode} [^{\circ}C]$	100	100	100	100	100.1	100.2
$S_{3,IGBT} [^{\circ}C]$	104	101.6	100.9	100.7	100.5	100.6
$S_{3,Diode} [^{\circ}C]$	109.6	104.2	102.4	101.5	100.7	100.4

## 손실 결과 정리

부하 [%]	100	50	30	20	10	5
THD [%]	0.8	0.8	0.78	0.78	0.8	0.8
Conduction Loss [W]	491.329	189.663	99.964	62.763	32.959	23.209
Switching Loss [W]	321.304	167.612	108.607	72.212	38.754	32.979
Semiconductor Loss [W]	4875.798	2143.65	1251.426	809.85	430.278	337.128

THD => 정격 용량 대비량