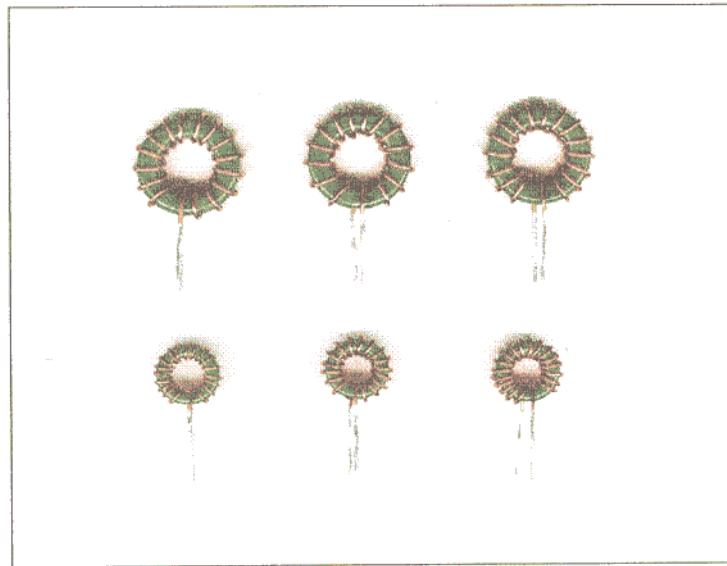


Ferrite 가포화 리액터의 설계핸드북



KCE

KCE

Korea Coil Engineering Co.,Ltd

Tel:+ 82-2-974-7034

Fax:+ 82-2-974-7345

-----目次-----

【1】	序論-----	2
【2】	Mag Amp란 무엇인가?-----	3
【3】	Mag Amp의 動作原理-----	4-7
【4】	可飽和 Reactor에 要求되는 磁性材料의 特性-----	8-9
【5】	可飽和 Reactor 設計에 必要한 記號의 定義-----	10
【6】	可飽和 Reactor 設計에 注意해야 할 事項-----	11-12
【7】	可飽和 Reactor 設計 Process-----	13-20
【8】	可飽和 Reactor 設計Flow Chart 및 設計에-----	21-26
	附錄1:Core 定數表-----	27-28
	附錄2:0種 에나멜線 定數表-----	29-30
	附錄3:線徑別 最大捲線數表-----	31-32



【1】序論

SMPS는 오래전부터 市販되어 왔고 現在는 技術, 品質, 價格에 있어 顯著한 發展을 하였다.

生産數量의 大部分을 占有하는 SMPS의 인버터部分은 1石式 ON-ON方式(FCC:Forward Coupled Converter)이 主從을 이루고 있다. 이러한 SMPS는 1次側에서 整流된 直流를 TR등의 스위칭 素子를 利用하여 高周波로 變換함과 同時에 2次側으로 부터의 信號에 따라 펄스幅을 制御하는 方式이 大部分이다.

이에 對하여 1次側에서는 周波數變換만을 하고 2次側에서 펄스幅 制御를 하는 方式이 있는데 2次側에 Chopper回路를 使用하는 方式과 Mag Amp方式이 있다.

多出力 SMPS에 있어 1次側制御와 2次側制御를 比較하여 보면 後者가 合理的인 方式이다.

前者는 原則的으로 出力回路와 同數의 인버터回路를 必要로 하는데 後者는 하나의 인버터로 각 出力에 同時 電力供給이 可能하다. 또한 인버터 回路를 簡單히 構成할 수 있다. 예를 들면 自勵式Forward Converter를 쉽게 構成할 수 있다.

Mag Amp에 使用하는 可飽和 리액터는 매우 重要的 核心 部品이다. 基本的인 技能이 스위치이기 때문에 여러 用度의 使用이 가능하다.

可飽和 리액터用 Core로 종전에는 80% Ni-Fe Core를 많이 使用하였는데 現在는 아몰퍼스(非晶質)합금의 入手가 쉽기 때문에 주로 아몰퍼스 합금을 使用하고 있다. 특히 아몰퍼스는 100KHz以上の 周波數에서도 特性의 劣化가 적기 때문에 高周波 Mag Amp를 容易하게 만들 수 있다.

Mag Amp의 여러 가지 長點때문에 아몰퍼스 합금을 使用하여 Mag Amp를 構成하고자 하여도 顧客이 要求하는 SMPS單價를 滿足시키는 것이 매우 어려운 것이 現實이다.

이에 特性은 아몰퍼스에 미치지 못하지만 設計를 適合하게 하면 使用上에 支障이 없고 價格的으로 低廉한 長點이 있는 高角形 페라이트 材質을 開發하여 可飽和 리액터를 商品化 하는데 成功하였다. Mag Amp의 技能을 確實히 理解하므로 顧客이 設計하는데 도움을 드리고져 本 Design Hand Book을 製作하게 되었다.



【2】 Mag Amp란 무엇인가

Mag Amp를 磁氣增幅器라고 翻譯한다. 그런데 增幅器라 하면 一般的으로 트랜지스터나 OP Amp등을 생각하게 되므로 磁氣增幅器라 하면 잘 理解가 않된다.

이를 理解하기 위하여 4端子의 블랙 박스를 考慮하여 보자 그림 1에 端子가 ①, ②, ③, ④인 4端子 回路網을 나타내었다.

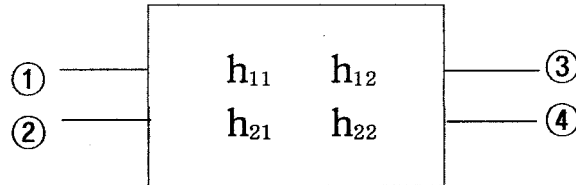


그림1.4단자 블랙 박스

블랙 박스 内部에 있는 Mag Amp의 內容은 알 수 없지만 ①-②間에 1mA의 電流變化가 있을때 ③-④間에 1A의 電流變化가 있다면 이 블랙 박스는 一種의 增幅器로 생각할 수 있다. 電流增幅率이 1000이 되는 增幅器라 할 수 있다.

Mag Amp는 可飽和 Core에 捲線을 한 Reactor로 되어 있다. 즉 그림1을 그림2로 表現할 수 있다.

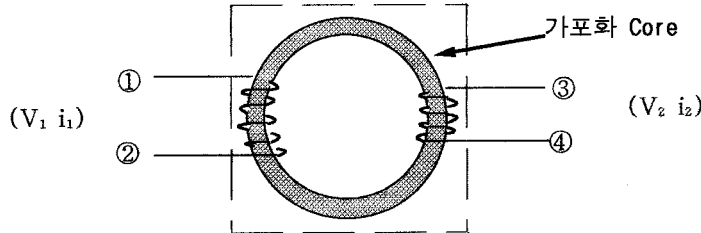


그림2. Mag Amp의 구조

①-②間에 Core가 飽和하는 直流電流를 흘리면 ③-④間的 임피던스는 空心Inductor와 같이 매우 적어 큰 電流를 흘릴 수 있다. 한편 ①-②間에 電流를 흘리지 않으면 ③-④間的 임피던스가 매우 크므로 電流를 흘리지 않는다. 단 ③-④間에 흐르는 電流는 高周波 電流에 限定된다. 따라서 ①-②間에 흐르는 적은 電流로 ③-④間에 흐르는 큰電流를 制御할 수 있다. 즉 h_{21} 이 큰 素子로 생각할 수 있고 h_{21} 이 매우 큰 境遇는 릴레이나 스위치로 부르는것이 適合하다. 따라서 Mag Amp의 境遇도 一種의 스위치의 動作을 한다고 생각할 수 있다.

【3】 Mag Amp의 動作原理

Mag Amp는 飽和前에는 高 임피던스를 維持하고 飽和後는 短絡에 가까운 狀態가 되는 可飽和 리액터를 스위치로 使用하는 回路를 Mag Amp라고 한다.

電流가 흘러 一段 飽和한 후에 電流를 흘리지. 않아도 높은 殘留磁束密度(B_r)를 維持하고 있다.

다시 같은 方向으로 약간의 電流를 흘리면 약간의 磁束密度의 變化로 飽和한다(그림1-a)

飽和한 후에 逆方向의 電流를 흘리면 殘留磁束密度가 적어지고(그림1-b) 電流를 增加시키면 最終적으로는 對稱의 $-B_r$ 까지 減少한다(그림1-c).

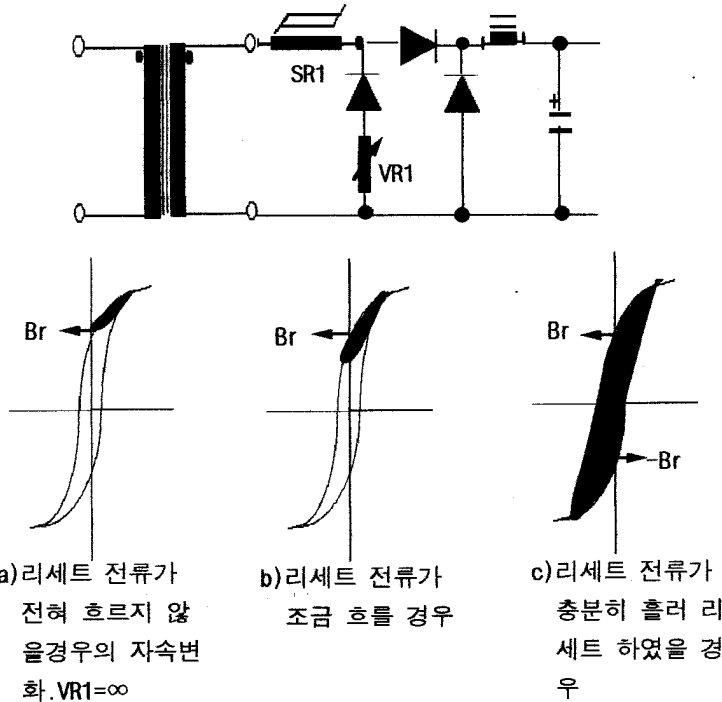


그림1. 가포화 리액터의 원리

殘留磁束密度가 적어진다는 것은 飽和할때까지의 磁束密度의 變化의 幅이 넓어진다는 것을 意味한다. 이것의 意味는 可飽和 리액터에 電壓을 加한후 可飽和 리액터가 飽和할때까지의 時間이 길어진다는 것을 意味한다.

따라서 $VR1$ 을 可變하므로 리세트 電流의 크기를 調節할 수 있다. 즉 出力電壓을 感知하여 出力電壓의 變化에 따라 $VR1$ 이



可變되어지면 2차捲線 電壓의 導通時間의 制御가 可能하여 出力電壓을 一定하게 維持할 수 있다.

出力電壓이 높아지면 리세트電流를 많이 흘려 飽和할때까지의 時間을 길게하여 2次捲線 電壓의 導通時間을 줄이고 出力電壓이 낮아지면 2次捲線 電壓의 導通時間을 늘려 負荷에 많은 에너지를 傳達하여 出力電壓을 安定시킨다.

可飽和 CORE 가 飽和할때까지의 時間을 t_s 라고 하면 出力電壓 V_o 는

$$V_o = \frac{N_s}{N_p} \times \left(\frac{t_{on} - t_s}{T} \right) \times V_2 [V]$$

이다.

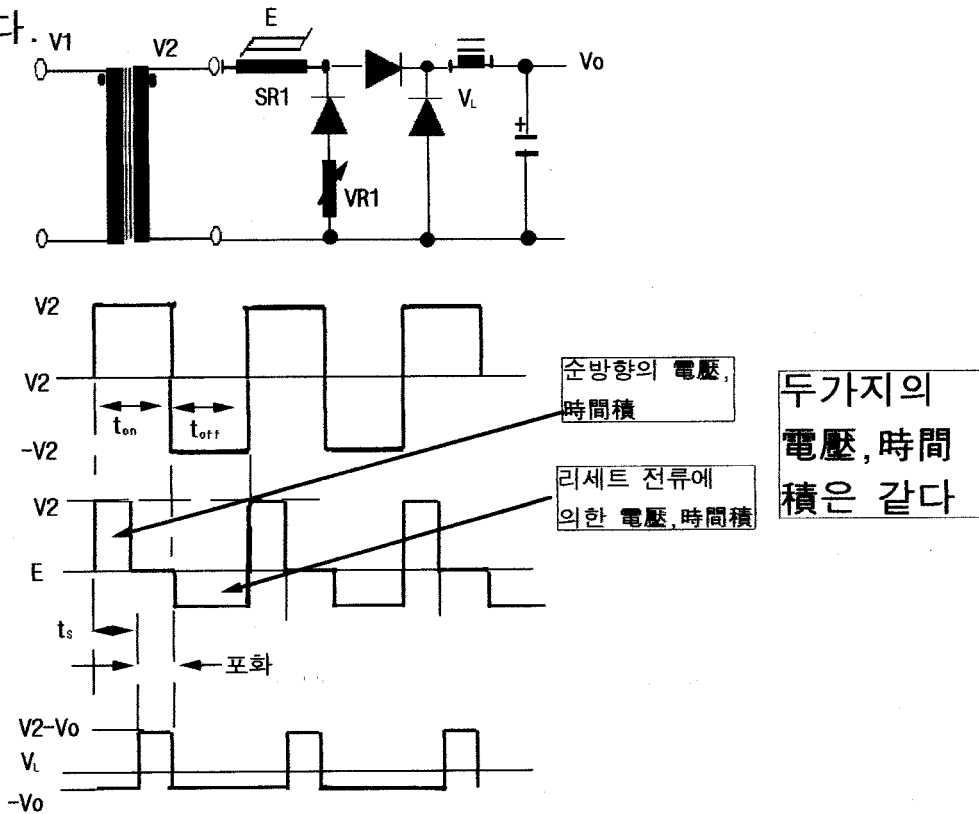


그림2. 각부의 파형

즉 t_s 를 制御하면 出力을 安定化 시킬 수 있다.

2차측 回路와 2次捲線, 可飽和 리액터, Choke兩端의 電壓波形을 그림2에 나타내었다.

動作原理를 다시 한번 簡單하게 定理하면 그림3과 같다.



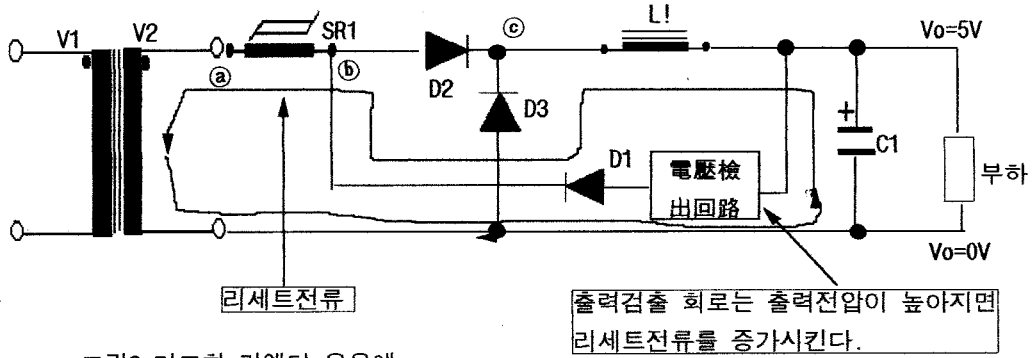


그림3.가포화 리액터 응용에

出力電壓이 낮으면 리세트 電流는 흐르지 않고 可飽和 리액터 에는 順方向에만 電流가 흐른다. 즉 短絡狀態가 된다.

出力電壓이 높아지면 1次側 스위칭 OFF期間에 可飽和 리액터 에 리세트 電流를 흘려 다음의 ON期間에는 리세트되어진 분 만큼 可飽和 리액터가 飽和狀態가 되는데 時間이 所要된다. 可飽和 리액터의 導通時間은 1次側의 ON期間보다 減少하여 出力電壓을 떨어지게 하므로 出力을 安定시킨다.

1次側의 Duty比에 關係없이 可飽和 리액터의 導通時間을 制御 할 수 있기 때문에 多出力 電源에 있어 檢出電壓(1次側에 Feed Back 시키는 電壓)以外的 出力電壓의 Cross Regulation 을 效率을 低下시키지 않고 改善할 수 있다.

그림4는 그림3 各部의 電壓派形이며

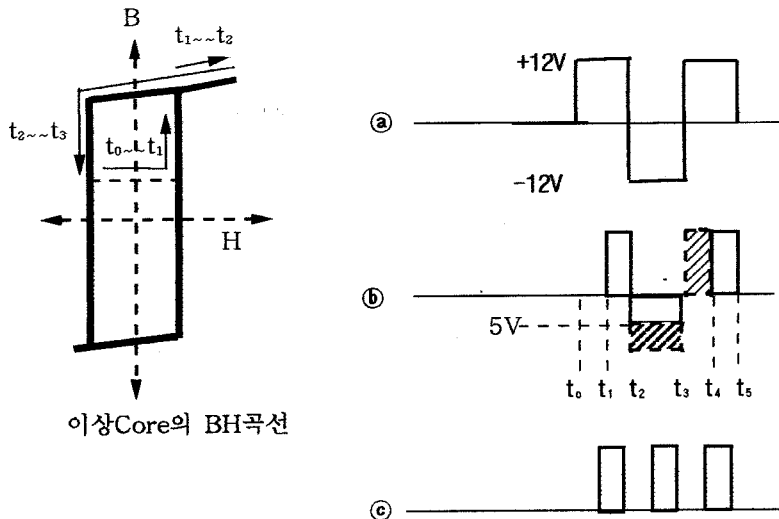


그림4. 각부의 파형



각 素子の 技能은

SR1: 制御素子인 可飽和 리액터

D2: 整流器.

D3: Flywheel Diode.

L1: 平滑用 Ckoke Coil.

C1: 平滑用 Capacitor.

D1: 磁束을 Reset할때 勵磁電流를 흘리기 爲한 Diode.

이다.

그림4에서 각 期間의 動作概要는 다음과 같다.

($t_0 \sim t_1$) 期間: 正의 半사이클에는 電壓이 SR1에 인가되어도 磁束이 飽和할때까지는 리액터는 OFF狀態로 있다.(D1은 Cut Off)

($t_1 \sim t_2$) 期間: 勵磁가 進行되어 飽和하면 Reactor는 ON 狀態 가 된다.(D1은 Cut Off)

($t_2 \sim t_3$) 期間: 極性이 變하여 負의 半사이클이 되면 Trans 의 2차捲線 端子電壓에서 V_0 를 뺀 負方向의 電壓이 인가되어지고 이 電壓에 의해 2次捲線 端子電壓 極性이 變化할때까지 磁束의 리세트가 進行된다.(D1은 Turn On되고 ㉞점의 電壓은 -5V가 되고 리액터兩端에는 -7V가 認可된다.)

($t_3 \sim t_4$) 期間: 다음에 正의 半사이클이 되면 리세트되어진 量과 같은 磁束을 다시 增加시켜 飽和할때까지 OFF의 狀態를 維持한다.

同一한 Reactor에 있어 電壓과 時間의 積이 一定하면 磁束의 變化量은 같기때문에 그림4의 ㉞점의 派形에 表示한 斜線部分의 面積은 서로 같다. 따라서 나머지 部分의 面積도 같으므로 $t_4 \sim t_5$ 의 ON期間의 半사이클의 平均值는 制御電壓 E_c 와 一致한다.



實際로 制御回路를 構成하는 境遇에는 出力電壓을 檢出하여 誤差增幅器에 入力하고 그 出力으로 TR의 Impedance를 可變하여 V_o 를 自動調節하도록 한다.

【4】 可飽和 리액터에 要求되는 磁性材料의 特性

Mag Amp에 要求되는 特性은 다음과 같고 그림5에 Core의 BH 曲線을 나타내었다.

- (1) 飽和磁束密度(B_s)가 커야한다.
- (2) 角形比(B_r/B_s)가 1에 가까워야 한다.
- (3) 保磁力(H_c)이 적어야 한다.

理由를 簡略하게 說明하면 다음과 같다.

- (1) 飽和磁束密度(B_s)가 커야 한다.

Core가 飽和하였을때의 磁束密度로 이 값이 큰만큼 적은 Core斷面積, 捲線으로 큰 電力을 制御할 수 있다.

- (2) 角形比(B_r/B_s)가 1에 가까워야 한다.

飽和磁束密度(B_s)와 殘留磁束密度(B_r)의 差는 動作不能角 (Dead Angle)을 크게하는 原因이 되기때문에 殘留磁束密度가 可能的 飽和磁束密度에 가까운 材料가 理想的이다.

B_r 과 B_s 의 比를 角形比라 하는데 이 값이 1에 가까울수록 Dead Angle이 적어진다.

- (3) 保磁力(H_c)이 적어야 한다.

殘留磁束密度(B_r)를 Zero로 하는데 必要的 磁界인데 ON狀態의 Reactor를 OFF狀態로 하기 爲한 磁界의 크기를 意味한다. 保磁力이 적은만큼 感度가 좋고 적은電力으로 Reactor를 制御할 수 있다. B-H 曲線의 面積이 적기 때문에 損失이 적다.

즉 角形比에 의해 Dead Time이 決定되고 H_c 에 의해 制御回路의 損失, 飽和磁束密度는 Reactor의 捲線數를 決定한다.

角形比가 나쁘면 可飽和 Reactor로부터 出力되는 電流가 完全히 上昇하는데 時間이 所要된다 이것이 큰만큼 制御 範圍가 좁아진다.

可飽和 Reactor의 捲線數는 飽和에 대하여 充分한 餘裕가



있어야한다 즉 無負荷時에는 可飽和 Reactor의 磁束을 充分히 Reset하여야 하므로 反對方向의 飽和에 대해 充分한 餘裕가 있어야 한다. 또한 B_m 의 溫度特性, 入力電壓의 過渡한 上昇을 考慮하여야 한다. 이러한 理由 때문에 捲線數가 많으면 좋으나 한편 捲線數가 많으면 Dead Time이 커지게 되고 損失도 增加하기 때문에 B_s 의 溫度係數, 入力電壓의 過渡한 上昇등을 考慮하여 適當한 값으로 選定하여야 한다.

이 외 主要한 要素로는 히스테리시스 損에 의한 Core의 發熱과 Reset電流에 의한 制御Tr의 發熱(捲線數가 적으면 Core의 發熱이 增加하고 Reset電流도 增加한다)등이다.

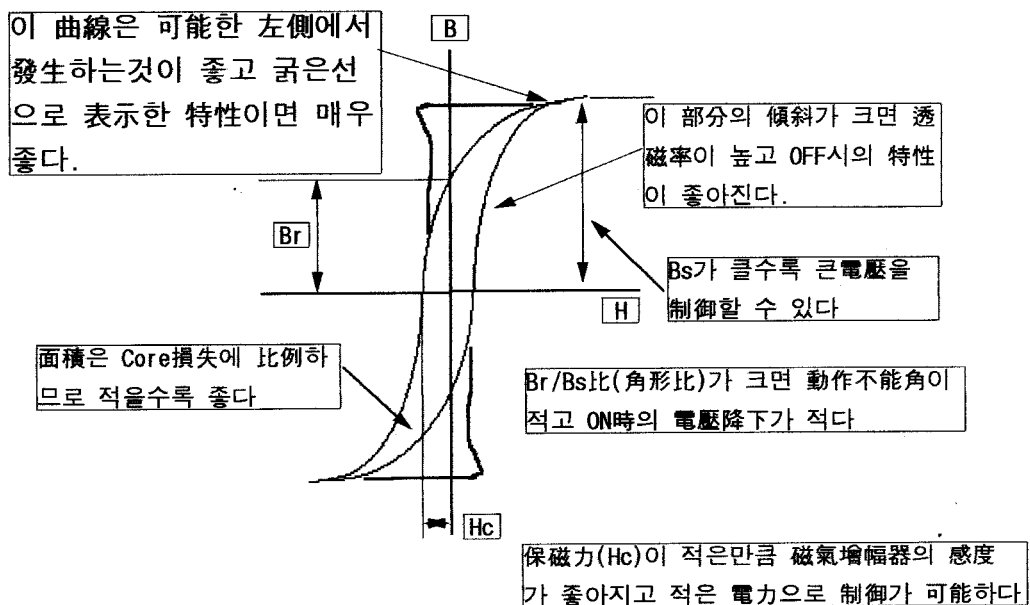


그림5. 磁氣增幅器用 Core材料의 BH曲線과 特性

그림5에 磁氣增幅器用 Core 材料의 BH曲線과 材料에 要求되는 特性을 表示하였다.



【5】可飽和 Reactor 設計에 必要한 記號의 定義

N:捲線數

N_p :스위칭 트랜스의 1次 捲線數

N_s :스위칭 트랜스의 2次 捲線數

E:可飽和 인덕터에 加해지는 電壓(Volt)

V_1 :트랜스 1次捲線의 端子電壓(Volt)

V_2 :트랜스 2次捲線의 端子電壓(Volt)

V_L :平滑 초크 兩端의 電壓(Volt)

V_o :出力電壓(Volt)

T:1次回路의 스위칭 周期, $T=t_{on}+t_{off}$ (Sec)

t_{on} :스위칭 ON 時間(Sec)

t_{onm} :스위칭 ON 最大時間(Sec)

t:時間(電壓이 加해지는 時間)(Sec)

$t_s(\gamma)$:可飽和 리액터가 飽和할때까지의 時間(Sec)

t_d :可飽和 리액터의 不能角(Dead Angle)時間

B_{ms} :最大飽和磁束密度(mT)

B_s :飽和磁束 密度(mT)

B_r :殘留磁束 密度(mT)

ΔB :磁束密度 變化量(Flux Density Change)(mT)

ΔB_r :全 磁束密度 變化量(mT)

ΔB_o :實質磁束密度 變化量(mT)--可飽和 리액터를 設計하였을때 實質使用磁束密度

B_{sr} : B_s-B_r (mT)

ϕ :磁束(Weber)

d_c :銅線의 線徑(mm)

λ :磁束鎖交數(Weber-turn)

d :Core의 內徑(mm)

H:磁界(AT/m)

H_c :保磁力(AT/m)

l_o :Core의 實效 磁場路(Cm)

A_o :Core의 實效 斷面積(Cm²)

V_o :Core의 實效體積(Cm³)

R_m :磁氣底抗(AT/Wb)

I_o :出力電流(A)

T_a :周圍溫度(°C)

T_r :上昇溫度(°C)

T_{cm} :Ring Core의 表面最大溫度(°C)

T_c :Ring Core의 表面溫度(°C)

P_v :Core의 單位體積當 損失(mW/cm)

P_L :Core의 損失(mW)

R_{th} :熱底抗(°C/W)

$F(f)$:動作周波數(KHz)



Korea Coil Engineering Co.,Ltd

【6】可飽和 리액터 設計에 注意해야 할 事項

(1) Dead Angle(不能角)이 적도록 設計하여야 한다.

Core의 角形比가 나쁘면 不能角이 커지고 不能角이 커지면 1次측 發振回路의 Duty MAX가 0.5가 되도록 設計되어 있더라도 2次측 實際의 制御範圍는 不能角만큼 줄어든다.

예를 들어 스위칭 周波數 50KHz라면 t_{on} 이 10uSec인데 不能角이 2uSec라면 Duty MAX는 0.4가 되어 制御範圍가 20% 減少하게 된다. 一般的으로 Duty MAX는 入力電壓 最低, 出力最大의 境遇를 基準하여 設定하여 出力電壓을 安定시키고 있다.

入力電壓 最低, 出力電流 最大일 境遇 2次測에 많은 에너지를 傳達하여야 하는데 可飽和 리액터의 不能角 때문에 Duty MAX가 0.4以上이 되지않는다. 이 不能角은 角形比가 1인 理想的인 磁性材質이 없기때문이다. 이러한 境遇 리세트 電流를 흘리지 않더라도 磁束密度는 B_r 의 狀態이므로 可飽和 리액터가 ON되기 위하여 B_s 까지 磁束變化를 하는데 時間이 걸린다.

(그림1 참조)

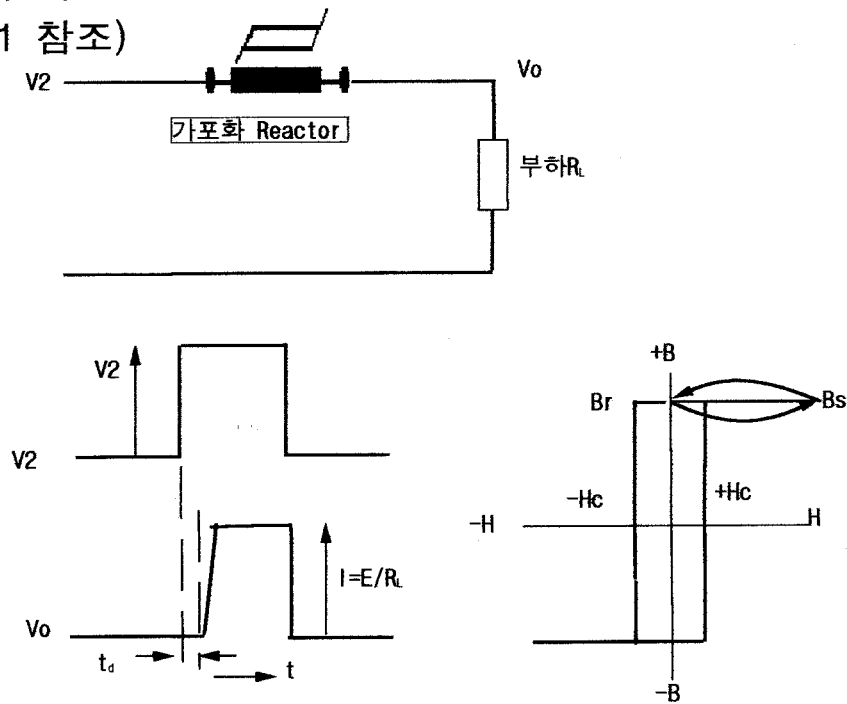


그림1. 불능각

(2) 可飽和 Reactor의 捲線數는 飽和에 대해 充分한 餘裕가 있어야 한다.



無負荷시에는 可飽和 Reactor의 磁束을 充分히 Reset하여야 하므로 反對方向의 飽和에 대해 充分한 餘裕가 있어야 한다. 또한 B_s 의 溫度特性, 入力電壓의 過渡的 上昇을 考慮하여야 한다. 이러한 理由 때문에 捲線數가 많으면 좋으나 한편 捲線數가 많으면 Dead Time이 커지게 되고 損失도 增加하기 때문에 適當한 값으로 選擇하여야 한다.

B_s 의 溫度計數, 入力電壓의 過渡的 上昇등을 考慮하여 選定하여야 한다.

이 외 主要한 要素로는 히스테리시스損에 의한 Core의 發熱과 Reset電流에 의한 制御Tr의 發熱(捲線數가 적으면 Reset電流도 增加한다)등이다.

- (3) 본 Hand Book은 可飽和 Reactor를 理解하고 設計時間을 短縮하기 위하여 製作되었다. 예를들면 T_m 을 100°C 로 한 公式이 (7)式이다. 만약 溫度를 變更하려면 0.52代身에 $(1-0.0048 \times T_m)$ 을 代入하여야 하고 이에 따라 ΔB_r 의 (21)公式도 變更하여야 한다.

또한 捲線數(N)에 의하여 實質 磁束密度 變化量 (ΔB_o)과 磁界(H)가 決定되며 使用磁界에 의해 B_{sr} 이 決定되고 B_{sr} 에 의해 不能角(Dead Angle)이 決定되는 등 定數간 相互 依存性이 있으므로 反復 計算하고 試製品을 만들어 確認하여야 한다. 또한 本書에는 負荷短絡, 無負荷時 등을 考慮하여 一次側 스위칭의 Duty Max(t_{onm})까지 可飽和 리액터를 遮斷하는것으로 設計하는것을 基本으로 하였다. 이러한 條件으로 設計하면 可飽和 리액터가 매우 커지므로 SMPS機能, 즉 過電流 保護, 過電壓保護 機能등을 어떻게 回路的으로 構成할것인가에 따라 可飽和 리액터의 最大 遮斷時間을 決定하여 適合하게 設計하여야 한다. 可飽和 리액터의 制御 方式에는 電壓制御와 電流制御方式이 있는데 一般的으로 리액터의 構造가 單純하고 高角形 Core를 使用할 경우 電壓制御方式이 適合하므로 본 Hand Book에서는 電壓制御方式만 記述하였다.



【7】 可飽和 리액터 設計 Process

(1) 設計 基本方程式

可飽和 인덕터의 動作은 두가지 基本方程式에 의해 支配된다.
磁束方程式과 磁界方程式이다.

인덕터에 誘起되는 電壓은 파라데이 法則에 의해

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = N \cdot \frac{d\phi}{dt} = N \cdot A_e \frac{dB}{dt} \quad (\text{Volt}) \text{-----}(1)$$

$$V \cdot t = N \cdot A_e \cdot \Delta B \quad (\text{Volt} \times \text{Sec}) \text{-----}(2)$$

이다. 이것을 磁束方程式이라 하고 여기서 N는 捲線回數, A_e 는 Core實效斷面積(m^2), ΔB 는 磁束密度 變化量(mT), λ 는 磁束鎖交數(Weber-Turn), t는 任意的 時間(sec)이다.

實效磁場路 l_e 인 Ring Core에 N회 捲線을 한 可飽和 리액터에 電流 I를 흘리면 磁界가 生成된다. 磁界 H는 암페어의 周回 積分의 法則에 의해

$$H = \frac{N \cdot I}{l_e} \quad (\text{AT/m}) \text{-----}(3)$$

이것을 磁界方程式이라 한다. 여기서 l_e 는 Core의 實效磁場路(m)이다.

捲線을 N회 한 인덕터의 인덕턴스 L은

$$\lambda = N \cdot \phi = L \cdot I$$

$$L = \frac{N \cdot \phi}{I}$$

$$\phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{N I}{\frac{l_e}{u \cdot A_e}}$$

$$L = N^2 \cdot \left(\frac{u \cdot A_e}{l_e} \right) \quad (\text{H}) \text{-----}(4)$$

이다. 여기서 R_m 은 磁氣抵抗(AT/Wb)이고 F_m 은 起磁力(AT)이다.



(2)식은 任意의 磁束密度 變化에 대한 電壓 時間積 을 나타내고 있다. 可飽和 리액터에 있어 ΔB 의 最小値는 $(B_s - B_r)$ 이고 最大値는 $(B_s + B_r)$ 이다.

適當한 리세트電流를 흘리면 適正值의 ΔB 를 줄 수 있다. 最小値가 제로가 되지 않고 最大値가 $2B_s$ 가 아닌것은 電流를 Cut Off시키면 磁束密度는 B_r 로 되돌아 가기 때문이다.

(2)식에서 可飽和 리액터가 ON 할때 까지의 時間을 τ 라 하면 τ 는

$$\tau = \frac{N \cdot \Delta B \cdot A_e}{V} \quad (\text{Sec}) \text{-----}(5)$$

이다

Mag Amp가 定電壓制御를 하기 위해서는 γ 는 Dead Angle(不能角)의 最低値에서 1次測의 t_{on} 以上の 값까지 保障되어야 한다. 無負荷時나 負荷短絡(過電流 保護回路)등을 考慮하여 γ 값을 選定하여야 한다.

可飽和 리액터用 Core는 $N \times \Delta B \times A_e$ 값의 最大値가 주어진다. 이 값을 最大電壓時間積이라 부른다.

【3】節 Mag Amp의 動作原理에서 詳細히 說明한것과 같이 可飽和 리액터가 飽和할때까지의 時間은 磁束密度 變化量에 比例하고 磁束密度 變化量은 리세트電流에 比例한다. 따라서 出力電壓의 變動에 따라 리세트電流가 變化하도록 Feed Back回路를 만들면 定電壓制御가 可能하다.

出力電壓 V_o 는

$$V_o = \frac{1}{T}(V_2 \cdot t_{on} - N \cdot \Delta B \cdot A_e) \quad (\text{Volt}) \text{-----}(6)$$

이다.

(2)設計定數

1)最大電壓時間積(Maximum Volt Second Product: $V_2 \times t$)

出力電壓을 安定시키기 위하여 얼마나 많이 可飽和 리액터가 2次捲線電壓을 遮斷시켜야 하는지를 나타내는 定數이다. 一般的으로 SMPS에서는 出力電壓의 安定을 Duty比를 制御하여 實現하고 있다.



入力電壓 最低,出力電流 最大의 條件에서 Duty比가 最大가 되도록 t_{onm} 을 設定하고 있다.

따라서 $N \times \Delta B \times A_e > V_2 \times t_{onm}$ 이 되도록 設計되어야 한다.

2)出力電流(Output Current: I_o)

Mag Amp의 制御方式에는 電壓制御方式과 電流制御方式이 있다. 電流制御方式은 高角形比의 Core를 使用하지 않아도 目的을 達成할 수 있으나 【2】節 그림2와 같이 制御捲線이 別途로 있어야 한다. 여기서는 電壓制御方式에 대해서만 記述하고 있으며 可飽和 리액터는 單捲線으로 構造가 簡單하고 가장 汎用으로 使用되고 있다.

따라서 하나의 捲線에 負荷電流도 흐르고 리세트電流도 흐르고 있기 때문에 리액터設計時 負荷抵抗值도 考慮하여야 한다.

3)溫度上昇(Temp. rise: T_r)

可飽和 리액터는 Core의 飽和特性을 利用하는 것이기 때문에 Core의 損失(鐵損)이 매우 크다.

Mn-Zn高角形 材質의 큐리 溫度(磁性變態點)는 200℃ 이상이지만 周圍溫度(Ambient Temp: T_a),溫度上昇 등을 考慮하여 Core의 表面溫度(Maximum Core Temp: T_c)가 100℃를 넘지않도록 設計하는 것이 바람직하다.

4)損失(Losses: P_L)

鐵損에는 크게 히스테리시스損과 渦電流損이 있다. 이는 使用 磁束密度와 周波數의 函數인데 다음式을 利用하여 計算하면 應用上 支障이 없고 이 式은 實驗結果에 의해 推定된 式이다.

$$P_L = 0.52 \cdot \Delta B_0^{1.7} \cdot f^{1.3} \cdot V_e / 3250 \quad (\text{mWatt}) \text{-----} (7)$$

여기서

P_L : Core의 電力損失(mW)

ΔB_0 : 實質 磁束密度 變化量(mT)

f : 動作周波數(KHz)

V_e : Core의 實效體積(cm^3)

이다.



5) 熱抵抗係數(Thermal Resistance Coefficient: R_{th})

熱은 體積에 의해 發生하고 熱放散은 表面積에 의해 이루어진다. 따라서 큰電流를 흘리는 경우 銅線의 電流密度를 높게 設定하는것은 體積에 比例하여 表面積이 增加하지 않기 때문이다.

空氣冷却의 경우 可飽和 리액터 Core의 熱抵抗의 實驗式은 다음과 같다.

$$R_{th} = 50 / \sqrt{V_e} \quad (^\circ\text{C/Watt}) \text{-----}(8)$$

여기에서

V_e : Core의 實效體積(cm^3)

이다. 예를들어 溫度上昇 T_r 은

$$T_r = R_{th} \cdot P_L \quad (^\circ\text{C}) \text{-----}(9)$$

이다. 式(8)이 모든 Ring core에 適用되는것은 아니다.

6) 不能角(Dead Angle: t_d)

飽和領域에서 BH曲線의 기울기가 存在하기 때문에 電流를 Cut Off하면 磁束密度는 殘留磁束密度로 돌아온다.

飽和磁束密度(B_s)와 殘留磁束密度(B_r)의 差異 때문에 Pulse 遲延이 發生하고 插入損失이 發生한다.

이 값이 너무 크면 SMPS動作에 큰 影響이 미치므로 考慮하여야한다. 이 磁束密度의 差異를 不能磁束密度(B_{sr})라 하면

$$B_{sr} = B_s - B_r \quad (\text{mT}) \text{-----}(10)$$

이고 B_{sr} 은 磁界의 函數이다. 實驗式은

$$B_{sr} = 2.2 \cdot \sqrt{H} \quad (\text{mT}) \text{-----}(11)$$

이다. 여기서

H: 磁界(AT/m)

이다. 不能角 t_d 는 (5)式에 의해

$$t_d = \frac{N \cdot (B_s - B_r) \cdot A_e}{V} \quad (\text{sec}) \text{-----}(12)$$

이다.



7) 磁束密度 變化量(Flux Density Swing: ΔB)

最大飽和磁束密度는 溫度가 增加함에 따라 減少한다. 리세트 電流에 의해 ΔB 가 制御되는데 Core의 溫度를 100°C의 경우를 감안하여 實用的인 값은 400mT 以下이어야 한다.

8) 리세트 電流(Reset Current: I_r)

리세트電流를 적게하면 制御損失을 줄일 수 있다. 리세트電流는 磁界方程式인 (3)式에 의하면 捲線數를 많이하면 적어진다. 그러나 이것은 不能角을 크게하는 要因이 된다. 적은 리세트電流로 制御하기 위하여 別途의 捲線을 設計하면 되는데 이는 可飽和 리액터의 構造가 複雜해 지고 電流供給源이 必要하므로 出力電壓이 높은경우 適用이 어려워진다. 따라서 適切한 리세트電流를 設定하여야 한다.

(3) 設計順序

B_{sr} , ΔB , N , H 등 모든 定數들이 獨立되지 않고 相互關係가 있기 때문에 簡單한 計算에 의해 決定되지 않고 反復的으로 計算하여 定數 相互간의 關係를 點檢하여야 한다(Try and Error). 可飽和 리액터 設計 Flow Chart를 【8】 節에 나타내었다. 設計에 必要한 基本資料는 設計時間을 短縮하기 위하여 附錄에 準備하였다.

1) 2次捲線電壓, 出力電壓, 電流, 發振周波數, t_{om} 을 設定한다.

$$V_2, V_o, I_o, f, t_{om}$$

2) 最惡의 條件을 考慮한 磁束(最大電壓時間積)을 算한다

$$V_2 \times t_{om}$$

3) 線徑(dw)을 決定한다.

電流密度는 溫度上昇등을 考慮하여 6A/mm²로 設定한다.

線徑은 다음式에 의해 결정된다.

$$d_w = 2 \cdot \sqrt{\frac{I_o}{\pi \cdot 6}} \quad (\text{mm}) \text{-----(13)}$$

4) Core를 選擇한다.

Core의 總磁束과 最大電壓時間積을 檢討하여 總磁束이 最大電壓時間積 보다 큰값의 Core를 選定한다. 可能的인 적은 Core 부터 選定한다. 殘留磁束密度로 制御하고 動作磁束密度는



一般的으로 적게 設計되므로 25°C 의 最大飽和磁束密度로 總磁束을 設定하더라도 設計에 餘裕가 있다.

즉 $2 \times B_{ms}$ 을 總磁束密度로 하여 最大電壓時間積과 比較하여 適은 Core부터 選定한다.

5) 捲線數(N)을 救한다.

最大捲線數는 使用 Core의 窓面積에 의해 決定되고 最低捲線數는 總磁束에 의해 決定된다, 最大捲線數는 다음과 같은 實驗式으로 計算하면 便利하다.

$$A = \frac{d_w}{d - d_w} \text{-----}(14)$$

$$N = \text{Integer}\left(\frac{\pi}{\arcsin(A)}\right) \text{-----}(15)$$

이다, 여기서 d:Core의 內徑 이다.

最低捲線數는 (5)式에 의해

$$N \geq \frac{V_2 \cdot t_{onm}}{\Delta B_0 \cdot A_e} \times 1000 \text{-----}(16)$$

여기서 ΔB_0 : 實質 使用 磁束密度 變化量(mT)

V_2 : 2次捲線 端子電壓(Volt)

t_{onm} : Duty ON 最大時間(uSec)

A_e : Core의 實效斷面積(mm²)

이다.

여기서 ΔB_0 는 리세트電流에 의해 制御되는 實質的인 磁束密度 變化量이고 一般的으로 最大磁束密度變化 可能值의 85% 가량 使用하는것이 適合하다. ΔB_0 의 限界는 $(B_r + B_s)$ 이고 Core의 溫度特性등을 考慮하여 400mT以下로 設定하는것이 바람직하다.

6) 動作磁束(ΔB_0)을 救한다.

$$\Delta B_0 = \frac{V_2 \cdot t_{onm}}{A_e \times N} \times 1000 \text{ (mT)-----}(17)$$



全磁束密度變化量을 ΔB_T 라 하면

$$\Delta B_0 = \Delta B_T - B_{sr}$$

$$\Delta B_0 = \frac{V_2 \cdot (t_{onm} - t_d)}{A_e \cdot N} \times 1000 \text{ (mT)} \text{-----(18)}$$

이고 B_{sr} 과 t_d 를 제로로 假定하면 (17)式이 成立한다.

7)Core의 損失을 救한다.

Core의 表面溫度(T_c)를 100℃以內로 하기위해서 周圍溫度 (T_a)를 45℃라 하면 溫度上昇(T_r)은 55℃가 된다 一般的으로 溫度上昇을 55℃以下가 되도록 設計하는것이 바람직 하다.(17)式에 의해 動作磁束密度를 救하고 (7)式으로 電力損實을 救한후(8), (9)式으로 溫度上昇을 計算하여 溫度上昇이 55℃以上이면 Core選擇부터 다시 設計하여야 한다.

理解를 돕기 위하여 다시 說明하면 다음과 같다.

Core의 熱底抗은 (8)式에 의해

$R_{th} = 50 / \sqrt{V_e}$ 이고 溫度上昇을 滿足하기 위하여 許容되는 電力損失(P_L)은

$$T_r = R_{th} \cdot P_L$$

$$P_L = \frac{T_r}{R_{th}} \text{ (W)} \text{-----(19)}$$

이다.

즉 Core定數를 (8)式에 代入하면 熱抵抗이 求해지고 (19)式에 熱抵抗과 溫度上昇 55℃를 代入하면 損失電力이 救해진다. 溫度上昇 55℃를 滿足하기 위해서는 損失電力이 計算된 값 以下이어야 한다. 이러한 損失을 滿足하기 위한 全 磁束密度變化(ΔB_T)는 式(7)에 의해

$$\Delta B_T^{1.7} = \frac{P_L \cdot 3250}{0.52 \cdot f^{1.3} \cdot V_e} \text{ (mT)} \text{-----(20)}$$

$$\Delta B_T = \sqrt[1.7]{\frac{P_L \cdot 3250}{0.52 \cdot f^{1.3} \cdot V_e}} \text{ (mT)} \text{-----(21)}$$

이다 여기서



- P_L : 電力損失(mW)
- f : 動作周波數(KHz)
- V_e : Core의 實效體積(Cm^3)
- ΔB_T : 全 磁束密度 變化(mT)

이다. 磁束密度에 대해 여러用語를 使用하고 있는데 用語를 다시 定理하면 다음과 같다.

1. 最大飽和磁束密度(B_{ms}): 磁界를 더以上 加해도 磁束密度가 더 以上 增加하지 않는 最大 磁束密度
2. 飽和磁束密度(B_s): 磁化(磁界를 認可하다)하였을때 그 磁化에 對應하는 飽和磁束密度.
3. 磁束密度 變化量(ΔB): 磁束密度의 變化量
4. 實質磁束密度 變化量(ΔB_o): 磁性部品을 設計하였을때 動作 磁束密度 變化量
5. 全 磁束密度 變化量(mT): 使用可能한 全 磁束密度 變化量 ($\Delta B_T + \Delta B_{sr}$)
6. 總磁束($\Delta \psi_T$): 最大磁束密度 變化量에 Core의 斷面積을 곱한것. ($2 \times \Delta B_{ms}$)

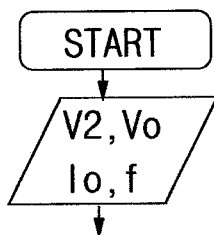
이다.

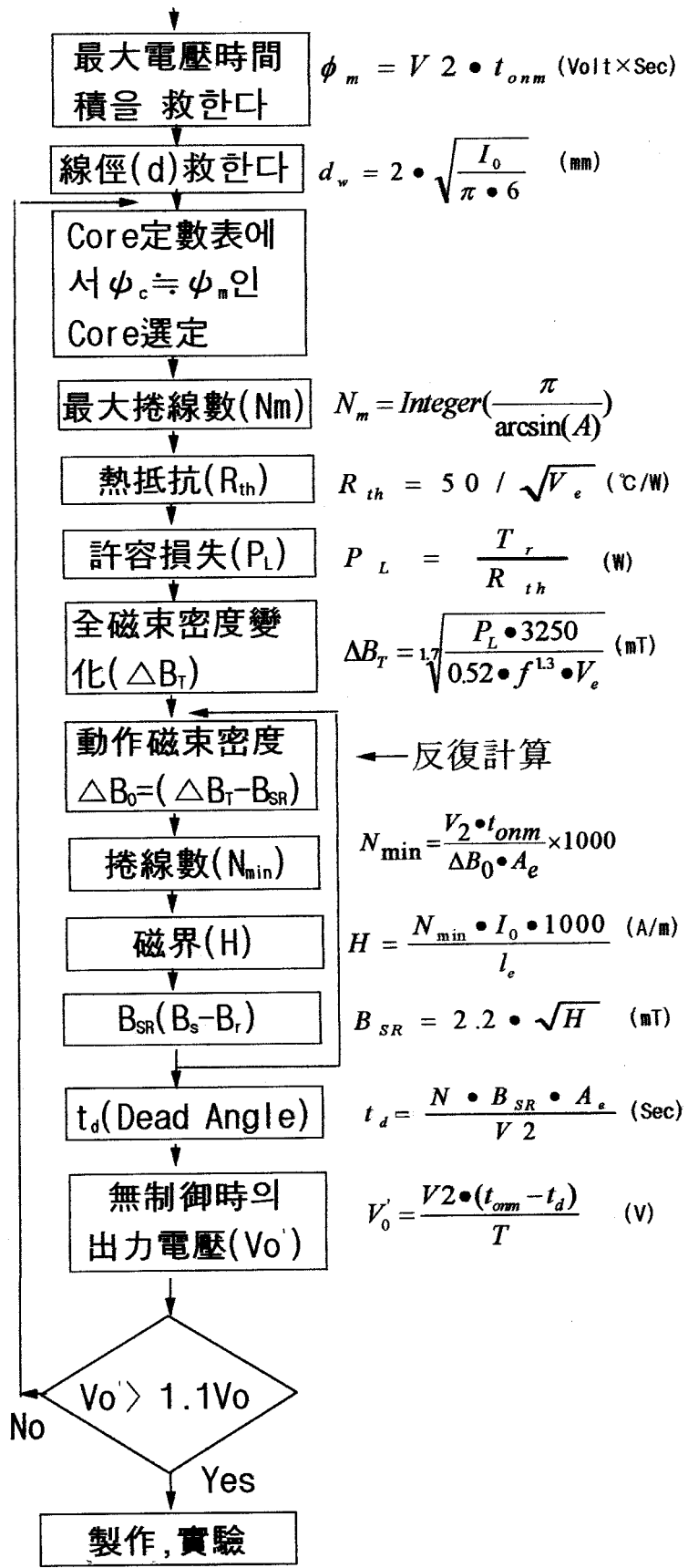
【8】 可飽和 리액터 設計 Process 및 設計例

(1) 設計 Flow Chart

設計 Flow Chart를 20-21Page에 나타내었다.

이 Flow Chart는 設計를 빠르고 쉽게 하기 위한 順序이며 量産되고 있는 모든 Core(4종)를 使用한 設計定數를 全部 檢討한후 最終적으로 Core를 選定하여도 되지만 時間이 많이 所要 되므로 이 Flow Chart로 設計한후 異常이 發生하면 設計定數를 全部 檢討한후 Core를 選定하는것이 바람직하다.





負荷 短絡考慮

附錄 利用

N를 10Ts로 假定 計算하여 적은 Core부터 選定, 誤差는 發生하지만 設計時間이 短縮된다. t_d 까지 計算한後 選定하여도 된다.

附錄 利用

B_{SR} 을 Zero로 간주하여 약 3회정도 計算한後 最低 捲線數를 設定



(2)設計例

1)設計條件

V2: +/-20V

I_o:10A

V_o:5V

f :50KHz

t_{onm}:9uS(Duty factor:45%)

T_{am}:45℃(最大周圍溫度)

T_{cm}:100℃

2)設計

1.最大電壓時間積(ϕ_m)

$$\phi_m = V_2 \cdot t_{onm} = 180(\text{Volt} \times \text{uSec})$$

2.線徑을 決定(附錄2. 0종에나멜線 定數表 參照)

$$d_w = 2 \cdot \sqrt{\frac{I_o}{\pi \cdot 6}} = 1.46(\text{mm})$$

d_w=1.50(mm)로 決定

3.Core를 選定한다

附錄1 Core定數表에서 總磁束에 10을 곱한 數值와 最大電壓時間積이 비슷한 Core를 選定한다.Core Type NO SR3가 適合하므로 SR3로 選定한다.

4.最大捲線數(N_m)를 計算한다.

$$N_m = \text{Integer}\left(\frac{\pi}{\arcsin(A)}\right)$$

이 式으로 計算하여도 되지만 附錄3 線徑別 最大捲線數表를 利用하면 時間이 短縮된다.

附錄3에 의해

N_m=21Ts가 된다.

5.熱抵抗(R_{th})을 算한다.

$$R_{th} = 50 / \sqrt{V_e} \quad (^\circ\text{C}/\text{W})$$

附錄1 Core定數表에서 SR3의 熱抵抗은 38.1(°C/W) 이다.



6. 許容損失(P_L)을 救한다.

$$P_L = \frac{T_r}{R_{th}} \quad (\text{W}) \text{에서 } P_L \text{은 } 1.44(\text{W}) \text{가 된다.}$$

만약 Core選定을 SR2로 하였다면 P_L 은 0.724(W)가 된다.

7. 全 磁束密度變化(ΔB_T)를 救한다.

$$\Delta B_T = \sqrt[1.7]{\frac{P_L \cdot 3250}{0.52 \cdot f^{1.3} \cdot V_e}} \quad (\text{mT}) \text{에서 } \Delta B_T \text{가 } 449.4(\text{mT}) \text{가 된다.}$$

만약에 Core選定을 SR2로 하였다면 ΔB_T 가 676.7(mT)가 되므로 實際 使用할 수 없다. 앞에도 說明하였지만 量産되는 四種Core를 使用한 設計定數를 全部 檢討한 後 Core를 最適으로 選定하면 되지만 三項에 의해 簡易 檢討를하는것이 設計時間을 節約할 수 있다.

8. 最低捲線數(N_{min})를 救한다.

動作磁束密度(ΔB_0), 最低捲線數(N_{min}), 磁界(H), B_{sr} 는 相互 依存性이 있기 때문에 처음에는 B_{sr} 을 제로로 假定하여 약 三回 정도 計算한 後 最低捲線數(N_{min})를 救한다.

B_{sr} 이 제로이므로 動作磁束密度는 449.4(mT)이므로 最低捲線數(N_{min})는

$$N_{min} = \frac{V_2 \cdot t_{om}}{\Delta B_0 \cdot A_e} \times 1000 \quad \text{에서 } 12.9(\text{Ts}) \text{가 된다.}$$

따라서 最低捲線數(N_{min})는 13(Ts)이 된다.

$$H = \frac{N_{min} \cdot I_0 \cdot 1000}{l_e} \quad \text{에서 磁界를 救하면 } 2,329(\text{A/m}) \text{이고}$$

B_{sr} 은

$B_{SR} = 2.2 \cdot \sqrt{H}$ 에서 106.1(mT)이다. 따라서 動作磁束 (ΔB_0)는 449.4-106.1=343.4(mT)이고 最低捲線數(N_{min})는 16.9(Ts)이고 磁界는 3,046(A/m)이고 B_{sr} 은 121(mT)이것으로 動作磁束을 救하면 動作磁束은 328.4(mT)이고 最低捲線數(N_{min})는 17.7(Ts)이고 磁界는 3,172



(A/m)이고 B_{sr} 은 123(mT)이고 動作磁束은 326.4(mT)이고 最低捲線數는 17.8(Ts)이다.

따라서 最低捲線數(N_{min})는 18(Ts)으로 決定한다.

9. Dead Angle을 救한다.

$t_d = \frac{N \cdot B_{sr} \cdot A_e}{V_2}$ (Sec)에서 B_{sr} 을 123(mT)를 代入하면 t_d 는 3.42(uS)가된다.

10. 無制御時的 出力電壓(V_0')는

$V_0' = \frac{V_2 \cdot (t_{onm} - t_d)}{T}$ 에서 5.58(V)가된다. 이 電壓은 1.1 V_0 보다는 조금 크다. 最大捲線可能數가 21(Ts)이므로 線徑 1.5(mm), 18(Ts)로 製品을 만든다.

11. 試驗을 한다.

여기에서 設計한 製品은 Dead Angle이 크기 때문에 SMPS의 性能을 滿足하기 어려우면 그 보다 조금 큰 Core를 選定하여 設計한後 實驗을 通하여 決定하여야 한다.

1次測 導通時間 最大(t_{onm})까지 可飽和 리액터가 2次捲線 電壓을 遮斷하는것으로 設計하였다. 이는 最惡의 境遇를 감안한 것이기 때문에 實際 遮斷時間을 줄이면 例를 들어 5uS로 한다면 SR3 Core로도 充分히 滿足하는 製品을 만들 수 있다.

이 境遇에는 最低捲線數를 救하는 公式 (16)의 t_{onm} 을 리액터의 最大遮斷時間을 代入하여 計算하여야 한다.

$N_{min} = \frac{V_2 \cdot t_{onm}}{\Delta B_0 \cdot A_e} \times 1000$ 에서 t_{onm} 을 5uS로 하여 計算하면 된다.

따라서 몇가지의 試製品을 製作하여 實驗하여 가장 適切한 것으로 決定하여야 한다.

1次測 導通期間 最大까지 리액터가 遮斷하는것으로 하면서 不能角(Dead Angle)을 줄이기 위해서 SR3보다 큰 SR4로 選定하면

4. 最大捲線數(N_m)은 附錄에 의해 38(Ts)이다.

5. 熱抵抗(R_{th})는 17.1(°C/W) 이다

6. 許容損失(P_L)은 3.21(W)이다



7. 全 磁束密度變化(ΔB_T)는 279(mT)이다.

8. 最低捲線數(N_{min})는

B_{sr} 이 제로이므로 動作磁束密度는 279(mT)이므로 最低捲線數(N_{min})는

$$N_{min} = \frac{V_2 \cdot t_{orm}}{\Delta B_0 \cdot A_e} \times 1000 \quad \text{에서 } 6.72(\text{Ts}) \text{가 된다.}$$

따라서 最低捲線數(N_{min})는 7(Ts)이 된다.

$$H = \frac{N_{min} \cdot I_0 \cdot 1000}{l_e} \quad \text{에서 磁界를 救하면 } 781.25(\text{A/m}) \text{이고}$$

B_{sr} 은

$$B_{SR} = 2.2 \cdot \sqrt{H} \quad \text{에서 } 61.49(\text{mT}) \text{이다. 따라서 動作磁束}$$

(ΔB_0)는 $279 - 61.5 = 217.5(\text{mT})$ 이고 最低捲線數(N_{min})은

은 $8.62(\text{Ts})$ 이고 磁界는 $899.8(\text{A/m})$ 이고 B_{sr} 은 $65.9(\text{mT})$

이것으로 動作磁束을 救하면 動作磁束은 $213.1(\text{mT})$ 이고

따라서 最低捲線數(N_{min})를 $9(\text{Ts})$ 設定한다. 9Ts 일 境遇 磁界(H)는 $781.25(\text{A/m})$ 이고 B_{sr} 은 $61.49(\text{mT})$ 가 된다.

9. Dead Angle은 $2.65(\mu\text{S})$ 가 된다.

10. 無制御時 電壓(V_0)는 $6.35(\text{V})$ 가 된다.

리액터 遮斷時間을 $5(\mu\text{S})$ 하여 可飽和 리액터를 設計하고 Core는 SR3로 選定하면

8. 最低捲線數(N_{min})를 救한다.

B_{sr} 이 제로이므로 動作磁束密度는 $449.4(\text{mT})$ 이므로 最低捲線數(N_{min})는

$$N_{min} = \frac{V_2 \cdot t_{orm}}{\Delta B_0 \cdot A_e} \times 1000 \quad \text{에서 } t_{orm} \text{을 } 5\mu\text{S} \text{로 代入하면 } 7.2(\text{Ts})$$

이다. 따라서 最低捲線數(N_{min})는 $8(\text{Ts})$ 이 된다.



$H = \frac{N_{\min} \cdot I_0 \cdot 1000}{l_e}$ 에서 磁界를 救하면 1,433(A/m)이
고

B_{sr} 은

$B_{sr} = 2.2 \cdot \sqrt{H}$ 에서 83.3(mT)이다. 따라서 動作磁束
(ΔB_0)는 449.4-83.3=366.1(mT)이고 捲線數 (N_{\min})
은 9.0(Ts)이고 磁界는 1,584(A/m)이고 B_{sr} 은 87.56(mT)
이다. 이것으로 動作 磁束을 救하면 動作磁束은 361.8
(mT)이고 捲線數(N_{\min})는 8.94(Ts)이고 磁界는 1,602
(A/m)이고 B_{sr} 은 88(mT)이고 動作磁束은 361.4(T)이고
捲線數는 8.95(Ts)이다.

따라서 最低捲線數(N_{\min})는 9(Ts)으로 決定한다.

9. Dead Angle을 구한다.

$t_d = \frac{N \cdot B_{sr} \cdot A_e}{V \cdot 2}$ (Sec)에서 B_{sr} 을 123(mT)를 代入하면 t_d
는 1.22(uS)가된다.

지금까지 三種類의 可飽和 리액터를 設計하였다. 이 試作品들
을 製作하여 實驗을 하면서 最適設計를 하여야 한다.

-以上-



附錄1. Core 定數表.

Reactor22-33

1) Core 定數表.

Type No	Finished dimensions 【mm】			磁路長 【 mm 】	Total Flux 2φS 【μWb】 MIN.	Ae 【mm ² 】	Ve 【Cm ³ 】	Rth 【°C/W】
	外徑 D	內徑 d	높이 h					
SR1 (9x6x3)	9.4±0.30	5.5±0.30	3.4±0.25	22.9	3.4	4.4	0.102	156.6
SR2 (14x9x5)	14.5±0.40	8.4±0.35	5.5±0.30	35.0	9.6	12.3	0.430	76.2
SR3 (23x13x7)	23.6±0.70	13.4±0.60	7.6±0.45	55.8	24.1	30.9	1.722	38.1
SR4 (36×23×15)	36.6±0.90	22.3±0.70	15.6±0.60	89.6	74.8	95.9	8.596	17.1

* $2\phi S = 2 \times Ae \times Bs.$ 【μWb】

(Bs : Maximum flux density)

* $Rth = 50/\sqrt{Ve}.$ 【°C/Watt】



Korea Coil Engineering Co.,Ltd

2) Core 磁性 特性表.

ITEM	SYMBOL	UNIT	VALUE	CONDITION
INITIAL PERMEABILITY	μ_i	--	800 ±20%	25°C
SATURATION FLUX DENSITY	Bm	25°C	mT	~400
		100°C	mT	~310
RESIDUAL FLUX DENSITY	Br	25°C	mT	~350
		100°C	mT	~270
COERCIVE FORCE	Hc	25°C	A/m	40
		100°C	A/m	20
SQUARENESS RATIO	Br/Bm	25°C	--	≥0.90
		100°C	--	≥0.85
CURIE TEMPERATURE	Tc	°C	≥230	--
ELECTRICAL RESISTIVITY	ρ	$\Omega \cdot m$	5.0	25°C, DC
DENSITY		kg/m ³	4600~ 4800.	



附錄2) 0種 에나멜線 定數表.

Coil (0 種)			電流 密度와 銅線의 許容 實效 電流值												
標準徑 d(mm)	完成外徑 Dmax(mm)	斷面積	J 3	J 3.5	J 4	J 4.5	J 5	J 5.5	J 6	J 7	J 8	J 9	J 10	J 11	J 12
2.00	2.162	3.140	9.420	10.990	12.560	14.130	15.700	17.270	18.840	21.980	25.120	28.260	31.400	34.540	37.680
1.90	2.062	2.834	8.502	9.918	11.335	12.752	14.169	15.586	17.003	19.837	22.671	25.505	28.339	31.172	34.006
1.80	1.956	2.543	7.630	8.902	10.174	11.445	12.717	13.989	15.260	17.804	20.347	22.891	25.434	27.977	30.521
1.70	1.865	2.269	6.806	7.940	9.075	10.209	11.343	12.478	13.612	15.881	18.149	20.418	22.687	24.955	27.224
1.60	1.754	2.010	6.029	7.034	8.038	9.043	10.048	11.053	12.058	14.067	16.077	18.086	20.096	22.106	24.115
1.50	1.654	1.766	5.299	6.182	7.065	7.948	8.831	9.714	10.598	12.364	14.130	15.896	17.663	19.429	21.195
1.40	1.548	1.539	4.616	5.385	6.154	6.924	7.693	8.462	9.232	10.770	12.309	13.847	15.386	16.925	18.463
1.30	1.448	1.327	3.980	4.643	5.307	5.970	6.633	7.297	7.960	9.287	10.613	11.940	13.267	14.593	15.920
1.20	1.342	1.130	3.391	3.956	4.522	5.087	5.652	6.217	6.782	7.913	9.043	10.174	11.304	12.434	13.565
1.10	1.242	0.950	2.850	3.324	3.799	4.274	4.749	5.224	5.699	6.649	7.599	8.549	9.499	10.448	11.398
1.00	1.138	0.785	2.355	2.748	3.140	3.533	3.925	4.318	4.710	5.495	6.280	7.065	7.850	8.635	9.420
0.95	1.072	0.708	2.125	2.480	2.834	3.188	3.542	3.897	4.251	4.959	5.668	6.376	7.085	7.793	8.502
0.90	1.020	0.636	1.908	2.225	2.543	2.861	3.179	3.497	3.815	4.451	5.087	5.723	6.359	6.994	7.630
0.85	0.966	0.567	1.701	1.985	2.269	2.552	2.836	3.119	3.403	3.970	4.537	5.104	5.672	6.239	6.806
0.80	0.914	0.502	1.507	1.758	2.010	2.261	2.512	2.763	3.014	3.517	4.019	4.522	5.024	5.526	6.029
0.75	0.860	0.442	1.325	1.545	1.766	1.987	2.208	2.429	2.649	3.091	3.533	3.974	4.416	4.857	5.299
0.70	0.804	0.385	1.154	1.346	1.539	1.731	1.923	2.116	2.308	2.693	3.077	3.462	3.847	4.231	4.616
0.65	0.752	0.332	0.995	1.161	1.327	1.492	1.658	1.824	1.990	2.322	2.653	2.985	3.317	3.648	3.980
0.60	0.698	0.283	0.848	0.989	1.130	1.272	1.413	1.554	1.696	1.978	2.261	2.543	2.826	3.109	3.391
0.55	0.646	0.237	0.712	0.831	0.950	1.069	1.187	1.306	1.425	1.662	1.900	2.137	2.375	2.612	2.850
0.50	0.586	0.196	0.589	0.687	0.785	0.883	0.981	1.079	1.178	1.374	1.570	1.766	1.963	2.159	2.355
0.45	0.532	0.159	0.477	0.556	0.636	0.715	0.795	0.874	0.954	1.113	1.272	1.431	1.590	1.749	1.908



0.40	0.480	0.126	0.377	0.440	0.502	0.565	0.628	0.691	0.754	0.879	1.005	1.130	1.256	1.382	1.507
0.37	0.446	0.107	0.322	0.376	0.430	1.693	0.537	0.591	0.645	0.752	0.860	0.967	1.075	1.182	1.290
0.35	0.424	0.096	0.288	0.337	0.385	0.433	0.481	0.529	0.577	0.673	0.769	0.865	0.962	1.058	1.154
0.32	0.394	0.080	0.241	0.281	0.322	0.362	0.402	0.442	0.482	0.563	0.643	0.723	0.804	0.884	0.965
0.30	0.374	0.071	0.212	0.247	0.283	0.318	0.353	0.389	0.424	0.495	0.565	0.636	0.707	0.777	0.848
0.29	0.360	0.066	0.198	0.231	0.264	0.297	0.330	0.363	0.396	0.462	0.528	0.594	0.660	0.726	0.792
0.28	0.350	0.062	0.185	0.215	0.246	0.277	0.308	0.338	0.369	0.431	0.492	0.554	0.615	0.677	0.739
0.27	0.340	0.057	0.172	0.200	0.229	0.258	0.286	0.315	0.343	0.401	0.458	0.515	0.572	0.629	0.687
0.26	0.330	0.053	0.159	0.186	0.212	0.239	0.265	0.292	0.318	0.371	0.425	0.478	0.531	0.584	0.637
0.25	0.318	0.049	0.147	0.172	0.196	0.221	0.245	0.270	0.294	0.343	0.393	0.442	0.491	0.540	0.589
0.24	0.308	0.045	0.136	0.158	0.181	0.203	0.226	0.249	0.271	0.317	0.362	0.407	0.452	0.497	0.543
0.23	0.298	0.042	0.125	0.145	0.166	0.187	0.208	0.228	0.249	0.291	0.332	0.374	0.415	0.457	0.498
0.22	0.286	0.038	0.114	0.133	0.152	0.171	0.190	0.209	0.228	0.266	0.304	0.342	0.380	0.418	0.456
0.21	0.276	0.035	0.104	0.121	0.138	0.156	0.173	0.190	0.208	0.242	0.277	0.312	0.346	0.381	0.415
0.20	0.266	0.031	0.094	0.110	0.126	0.141	0.157	0.173	0.188	0.220	0.251	0.283	0.314	0.345	0.377
0.19	0.256	0.028	0.085	0.099	0.113	0.128	0.142	0.156	0.170	0.198	0.227	0.255	0.283	0.312	0.340
0.18	0.246	0.025	0.076	0.089	0.102	0.114	0.127	0.140	0.153	0.178	0.203	0.229	0.254	0.280	0.305
0.17	0.232	0.023	0.068	0.079	0.091	0.102	0.113	0.125	0.136	0.159	0.181	0.204	0.227	0.250	0.272
0.16	0.222	0.020	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.111	0.121	0.141	0.161	0.181	0.201	0.221	0.241
0.15	0.210	0.018	0.053	0.062	0.071	0.079	0.088	0.097	0.106	0.124	0.141	0.159	0.177	0.194	0.212
0.14	0.200	0.015	0.046	0.054	0.062	0.069	0.077	0.085	0.092	0.108	0.123	0.138	0.154	0.169	0.185
0.13	0.190	0.013	0.040	0.046	0.053	0.060	0.066	0.073	0.080	0.093	0.106	0.119	0.133	0.146	0.159
0.12	0.180	0.011	0.034	0.040	0.045	0.051	0.057	0.062	0.068	0.079	0.090	0.102	0.113	0.124	0.136
0.11	0.166	0.009	0.028	0.033	0.038	0.043	0.047	0.052	0.057	0.066	0.076	0.085	0.095	0.104	0.114
0.10	0.156	0.008	0.024	0.027	0.031	0.035	0.039	0.043	0.047	0.055	0.063	0.071	0.079	0.086	0.094



附錄3) 線經別 最大 捲線數表.

Coil (0 種)			T Y P E											
標準徑	完成外徑	斷面積	SR1 (9x6x3)			SR2 (14x9x7)			SR3 (23x14x7)			SR4 (36x23x15)		
d (mm)	D Max(mm)		dc Min(mm)	A	N(max)	dc Min(mm)	A	N(max)	dc Min(mm)	A	N(max)	dc Min(mm)	A	N(max)
2.00	2.162	3.669	5.2	0.712	4	8.05	0.367	8	12.8	0.203	15	21.6	0.111	28
1.90	2.062	2.834	5.2	0.657	4	8.05	0.344	9	12.8	0.192	16	21.6	0.106	30
1.80	1.956	2.543	5.2	0.603	5	8.05	0.321	10	12.8	0.180	17	21.6	0.100	31
1.70	1.865	2.269	5.2	0.559	5	8.05	0.302	10	12.8	0.171	18	21.6	0.095	33
1.60	1.754	2.010	5.2	0.509	6	8.05	0.279	11	12.8	0.159	20	21.6	0.088	35
1.50	1.654	1.766	5.2	0.466	6	8.05	0.259	12	12.8	0.148	21	21.6	0.083	38
1.40	1.548	1.539	5.2	0.424	7	8.05	0.238	13	12.8	0.138	23	21.6	0.077	41
1.30	1.448	1.327	5.2	0.386	8	8.05	0.219	14	12.8	0.128	25	21.6	0.072	44
1.20	1.342	1.130	5.2	0.348	9	8.05	0.200	16	12.8	0.117	27	21.6	0.066	47
1.10	1.242	0.950	5.2	0.314	10	8.05	0.182	17	12.8	0.107	29	21.6	0.061	51
1.00	1.138	0.785	5.2	0.280	11	8.05	0.165	19	12.8	0.098	32	21.6	0.056	56
0.95	1.072	0.708	5.2	0.260	12	8.05	0.154	20	12.8	0.091	34	21.6	0.052	60
0.90	1.020	0.636	5.2	0.244	13	8.05	0.145	22	12.8	0.087	36	21.6	0.050	63
0.85	0.966	0.567	5.2	0.228	14	8.05	0.136	23	12.8	0.082	38	21.6	0.047	67
0.80	0.914	0.502	5.2	0.213	15	8.05	0.128	24	12.8	0.077	41	21.6	0.044	71
0.75	0.860	0.442	5.2	0.198	16	8.05	0.120	26	12.8	0.072	44	21.6	0.041	76
0.70	0.804	0.385	5.2	0.183	17	8.05	0.111	28	12.8	0.067	47	21.6	0.039	81
0.65	0.752	0.332	5.2	0.169	18	8.05	0.103	30	12.8	0.062	50	21.6	0.036	87
0.60	0.698	0.283	5.2	0.155	20	8.05	0.095	33	12.8	0.058	54	21.6	0.033	94
0.55	0.646	0.237	5.2	0.142	22	8.05	0.087	36	12.8	0.053	59	21.6	0.031	102
0.50	0.586	0.196	5.2	0.127	25	8.05	0.079	40	12.8	0.048	65	21.6	0.028	113
0.45	0.532	0.159	5.2	0.114	27	8.05	0.071	44	12.8	0.043	72	21.6	0.025	124



Korea Coil Engineering Co.,Ltd

0.40	0.480	0.126	5.2	0.102	31	8.05	0.063	49	12.8	0.039	81	21.6	0.023	138
0.37	0.446	0.107	5.2	0.094	33	8.05	0.059	54	12.8	0.036	87	21.6	0.021	149
0.35	0.424	0.096	5.2	0.089	35	8.05	0.056	56	12.8	0.034	92	21.6	0.020	157
0.32	0.394	0.080	5.2	0.082	38	8.05	0.051	61	12.8	0.032	99	21.6	0.019	169
0.30	0.374	0.071	5.2	0.077	40	8.05	0.049	64	12.8	0.030	104	21.6	0.018	178
0.29	0.360	0.066	5.2	0.074	42	8.05	0.047	67	12.8	0.029	108	21.6	0.017	185
0.28	0.350	0.062	5.2	0.072	43	8.05	0.045	69	12.8	0.028	112	21.6	0.016	191
0.27	0.340	0.057	5.2	0.070	45	8.05	0.044	71	12.8	0.027	115	21.6	0.016	196
0.26	0.330	0.053	5.2	0.068	46	8.05	0.043	73	12.8	0.026	119	21.6	0.016	202
0.25	0.318	0.049	5.2	0.065	48	8.05	0.041	76	12.8	0.025	123	21.6	0.015	210
0.24	0.308	0.045	5.2	0.063	50	8.05	0.040	79	12.8	0.025	127	21.6	0.014	217
0.23	0.298	0.042	5.2	0.061	52	8.05	0.038	82	12.8	0.024	132	21.6	0.014	224
0.22	0.286	0.038	5.2	0.058	54	8.05	0.037	85	12.8	0.023	137	21.6	0.013	234
0.21	0.276	0.035	5.2	0.056	56	8.05	0.036	88	12.8	0.022	142	21.6	0.013	243
0.20	0.266	0.031	5.2	0.054	58	8.05	0.034	92	12.8	0.021	148	21.6	0.012	252
0.19	0.256	0.028	5.2	0.052	61	8.05	0.033	96	12.8	0.020	154	21.6	0.012	262
0.18	0.246	0.025	5.2	0.050	63	8.05	0.032	100	12.8	0.020	160	21.6	0.012	273
0.17	0.232	0.023	5.2	0.047	67	8.05	0.030	106	12.8	0.018	170	21.6	0.011	289
0.16	0.222	0.020	5.2	0.045	70	8.05	0.028	111	12.8	0.018	178	21.6	0.010	302
0.15	0.210	0.018	5.2	0.042	75	8.05	0.027	117	12.8	0.017	188	21.6	0.010	320
0.14	0.200	0.015	5.2	0.040	78	8.05	0.025	123	12.8	0.016	198	21.6	0.009	336
0.13	0.190	0.013	5.2	0.038	83	8.05	0.024	130	12.8	0.015	208	21.6	0.009	354
0.12	0.180	0.011	5.2	0.036	88	8.05	0.023	137	12.8	0.014	220	21.6	0.008	374
0.11	0.166	0.009	5.2	0.033	95	8.05	0.021	149	12.8	0.013	239	21.6	0.008	405
0.10	0.156	0.008	5.2	0.031	102	8.05	0.020	159	12.8	0.012	254	21.6	0.007	432

