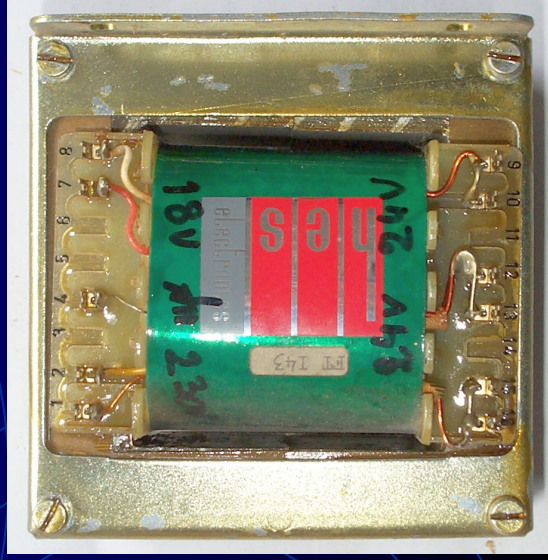
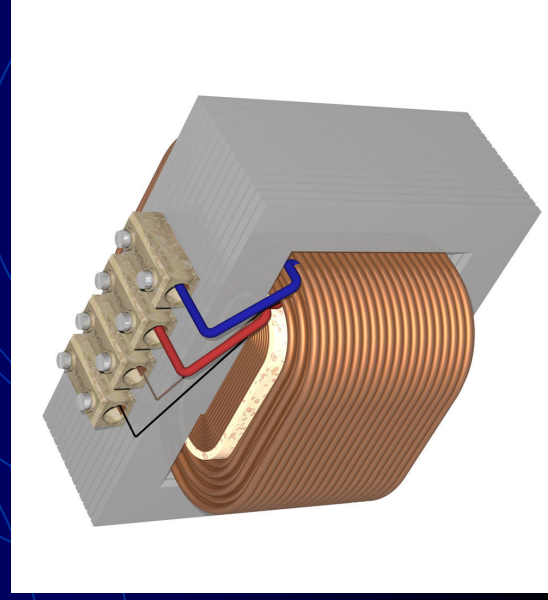
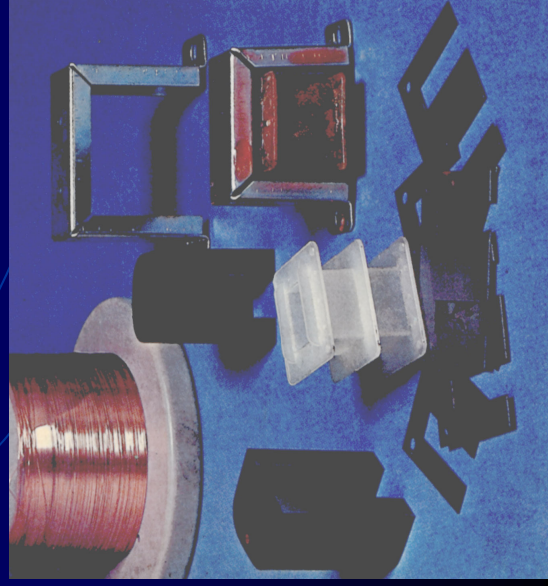
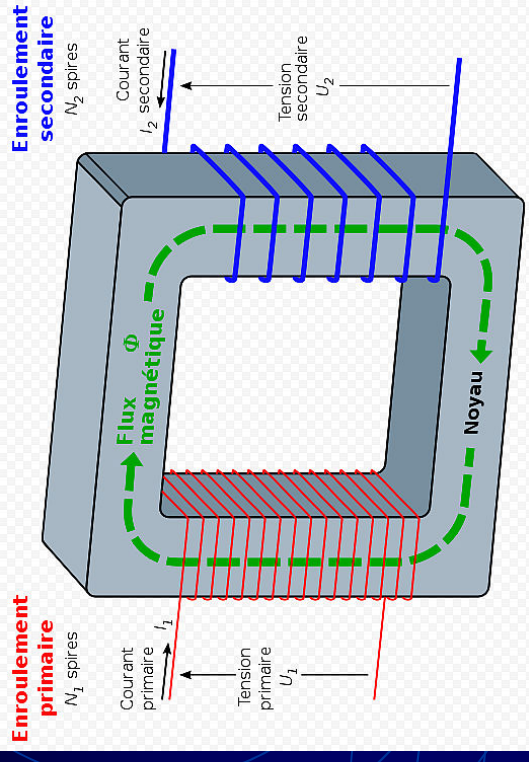
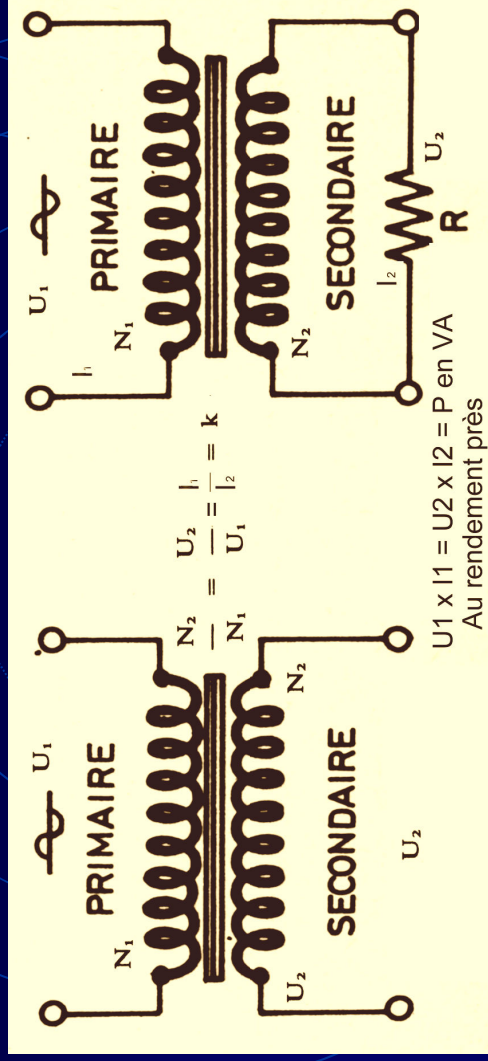


Le transformateur

- Principes:



Le transformateur

- Puissance d'un transfo déterminée principalement par :
 - La section du noyau magnétiques et les caractéristiques des tôles
 - La section des fils en Cu
 - Les caractéristiques des isolants (tenue en tension et en température).
- Les tensions sont déterminées par le rapport du nombre de spires.

Détermination de la section du circuit mag

On détermine approximativement la section optimum du noyau, pour les transformateurs cuirassés 50 Hz, à l'aide de la formule :

$$S = 1,2 \sqrt{P} \quad \text{Pour les tôles ordinaires} \quad S = 0,9 \sqrt{P} \quad \text{Tôles au silicium}$$

Avant ~1950

Après ~1960

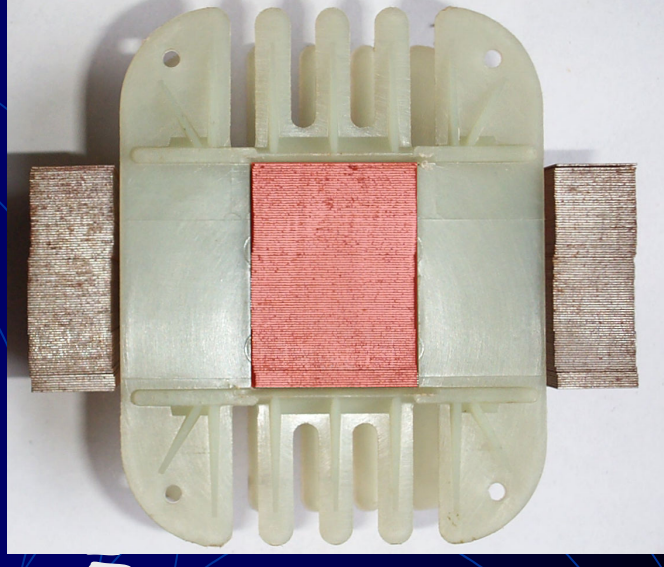
S = section du noyau en centimètres carrés

P = puissance en voltampères

Par exemple, la section du noyau d'un transformateur de 25 VA serait de : $1,2 \sqrt{25} = 6 \text{ cm}^2$ de section effective.

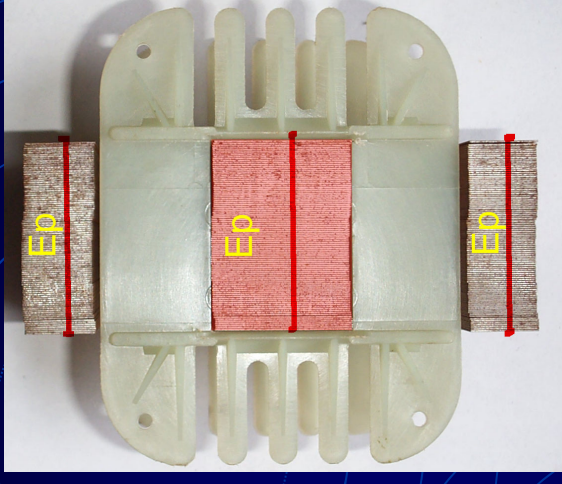
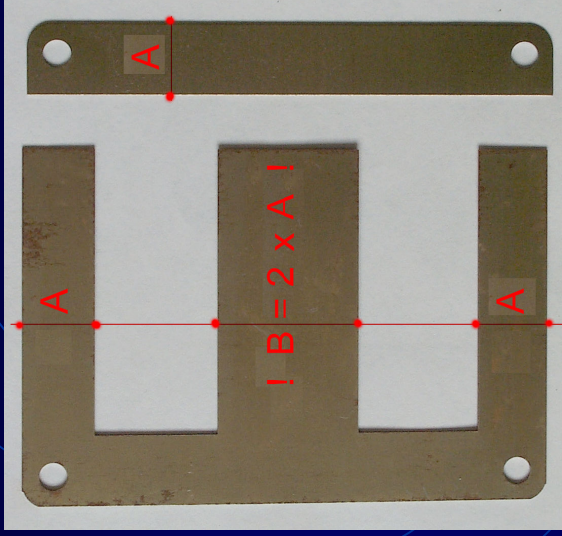
En tenant compte de l'espace perdu entre tôles, la section brute est un peu plus élevée, environ un dixième en plus, ce qui fait, si l'on se reporte à l'exemple précédent : $6 \times 1,1 = 6,6 \text{ cm}^2$.

Cette formule permet d'obtenir le rapport optimum au point de vue rendement et prix de revient, entre le poids du cuivre et du fer.



Le transformateur

- Puissance approximative en fonction de la section



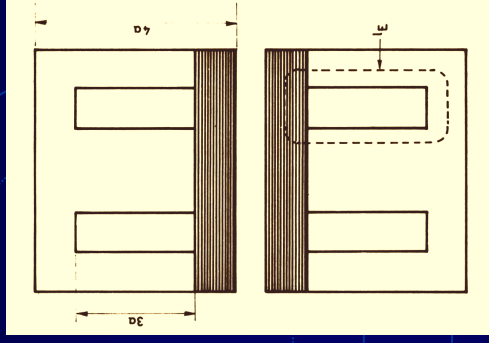
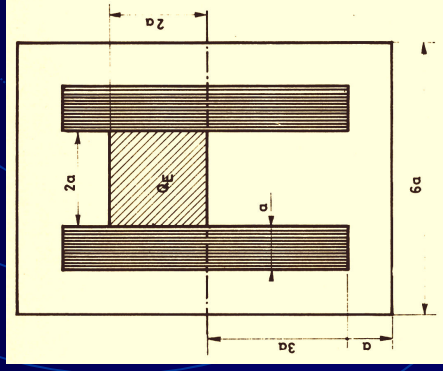
- $Q_e = 0.9 \times E_p \times 2 \times A$
- Q_e = section effective du fer en cm^2
- 0.9 = foisonnement dû à l'empilement des tôles et leur isolation.

- $P = (Q_e / 0.9)^2$ P en VA
- 0.9 dépend de la qualité des tôles (rien à voir avec le foisonnement)

E_p et A en cm

Le transformateur

- Les tôles EI - Dites « Américaines » facilité de la détermination des paramètres



Fenêtre : $F = 3 a^2$ (cm²).

Section brute : $Q = 4 a^2$ (cm²).

Section effective : $Q_e = 0,9 Q = 3,6 a^2$ (cm²).

Longueur moyenne des lignes de force : $l = 12 a$ (cm).

Nombre de tôles ; $n = 57 a$ (pour tôles 0,35 mm).

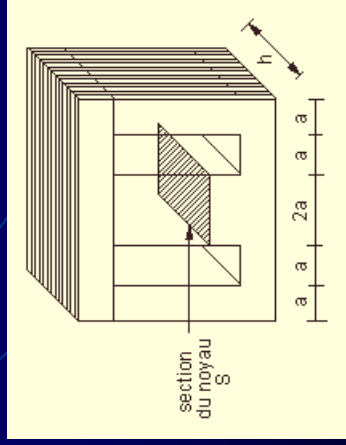
Volume de fer : $V = 48 a^3$ (cm³).

Poids du fer : $P = 0,33 a^2$ (kg).

Pertes dans le fer à 12 000 gauss (1,5 W/kg) = $1,06 a^3$ (W).

Les transformateurs réalisés avec ces tôles, présentent, du fait de l'étroitesse de la fenêtre du circuit magnétique par rapport à son noyau, un excès de fer. Cela conduit à un nombre de spires par volt relativement faible, donc à une réduction de la longueur totale, ainsi que du poids des conducteurs, et, en conséquence, de la résistance provoquant les pertes par effet Joule et la chute ohmique.

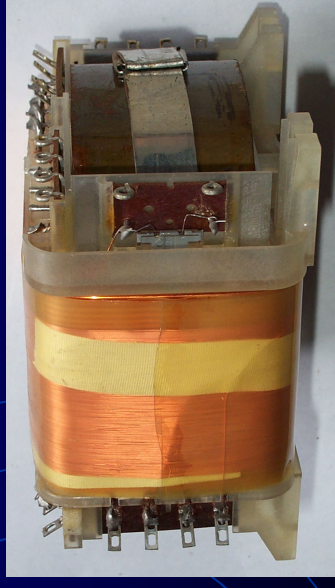
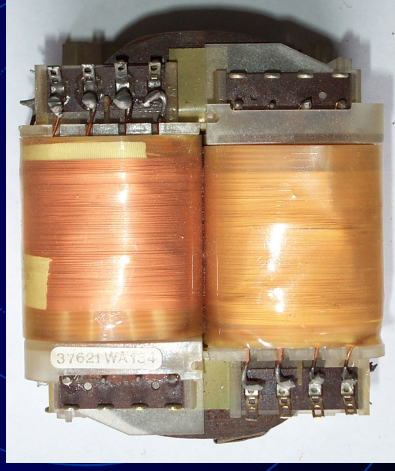
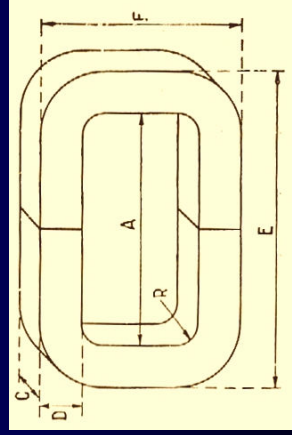
Cette réduction de volume du cuivre est particulièrement intéressante et explique la faveur que remportent ces tôles. Par ailleurs, du point de vue technique, elle permet de répondre plus facilement aux exigences des normes relatives aux chutes de tension des transformateurs d'alimentation, les chiffres admis pour cette chute étant peu élevés.



- le transfo a alors un format $6a \times 5a$. Les tôles EI sont empilées en quinconce de façon à ne pas avoir tous les entrefers d'un même côté

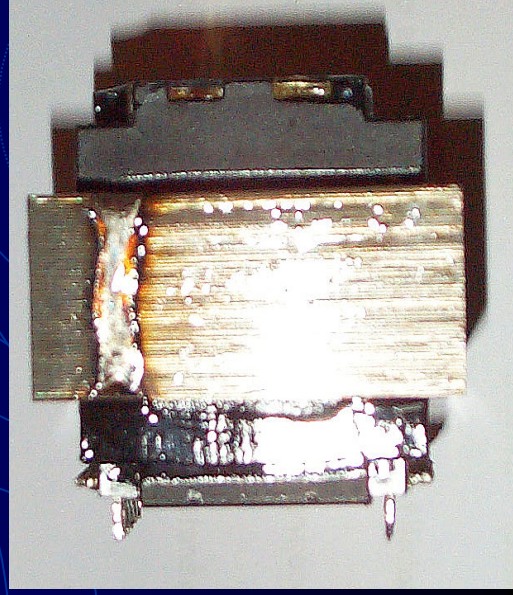
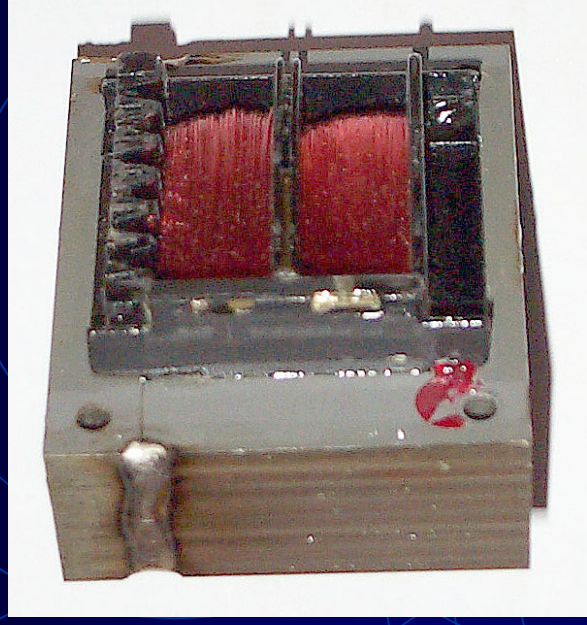
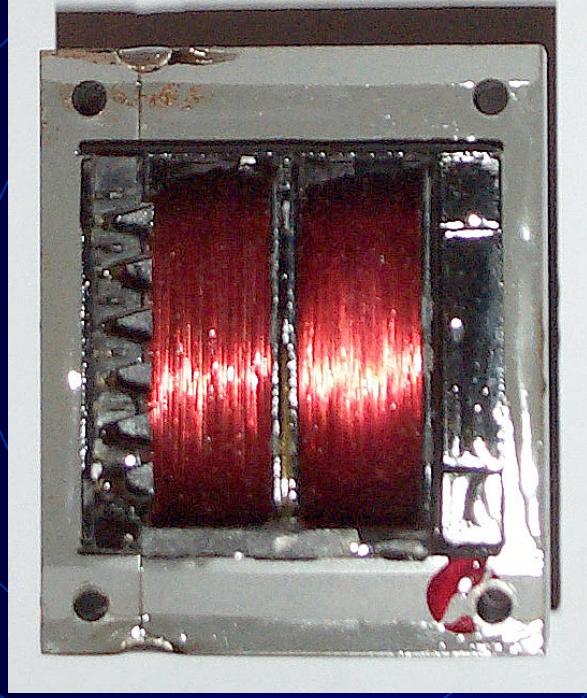
Le transformateur

- Les circuits en « C »
 - Ces circuits sont réalisées en bandes de tôles à cristaux orientés
 - Par laminage, on oriente les cristaux dans le sens favorable à une perméabilité élevée - valeur de la saturation plus élevée.
 - Epaisseur des tôles 0.35 à 0.5 mm
 - Pertes réduites de 50 %
 - Calcul de la section « fer » du noyau devient: $P = (Q_e/0.9)^2$ avec P en VA Q_e en cm^2
 - Le bobinage n'est plus cuirassé comme dans les transfos EI ; d'où un meilleur refroidissement
 - Ci-dessous circuit double C



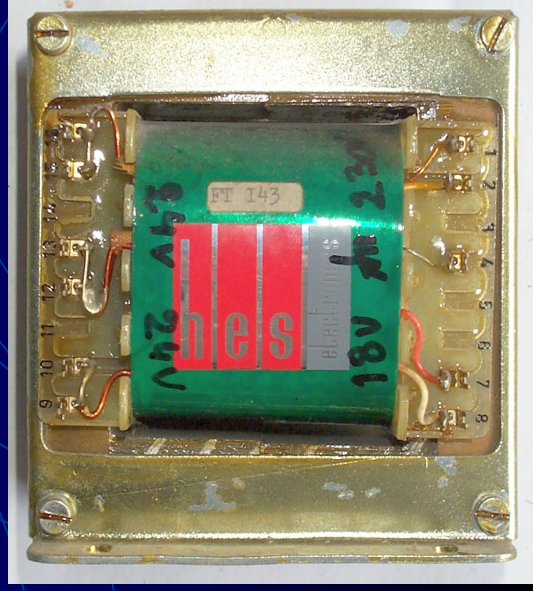
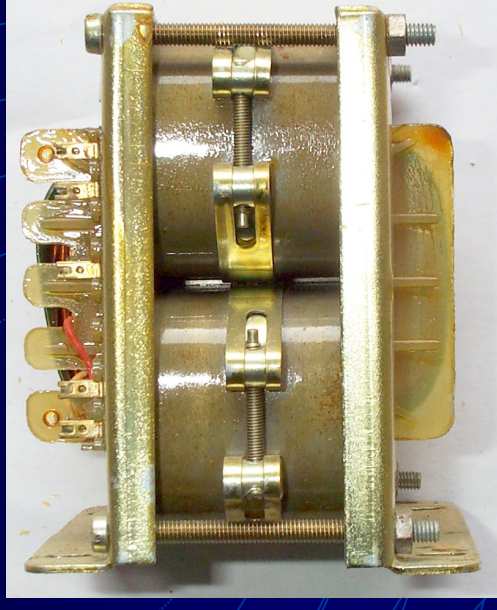
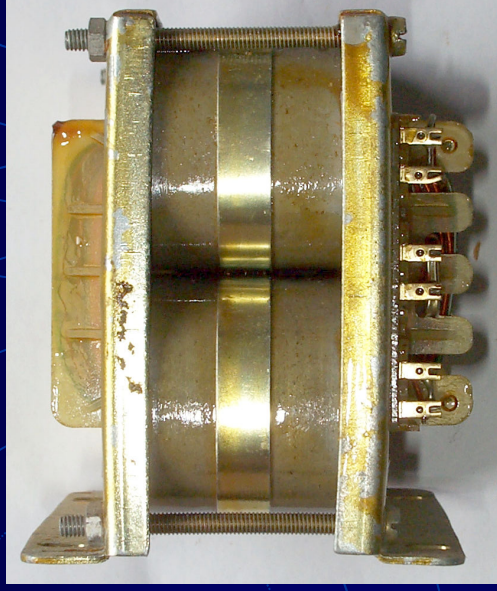
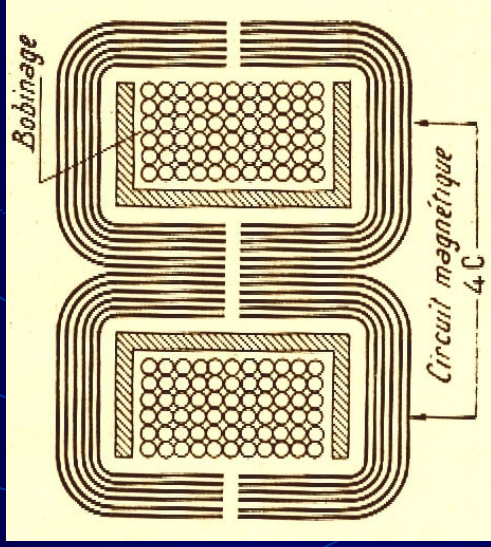
Le transformateur

- A ne pas faire - souder les tôles ...!!!



Le transformateur

- Autres possibilités des circuits en « C »
- Le 4 C ou deux doubles C

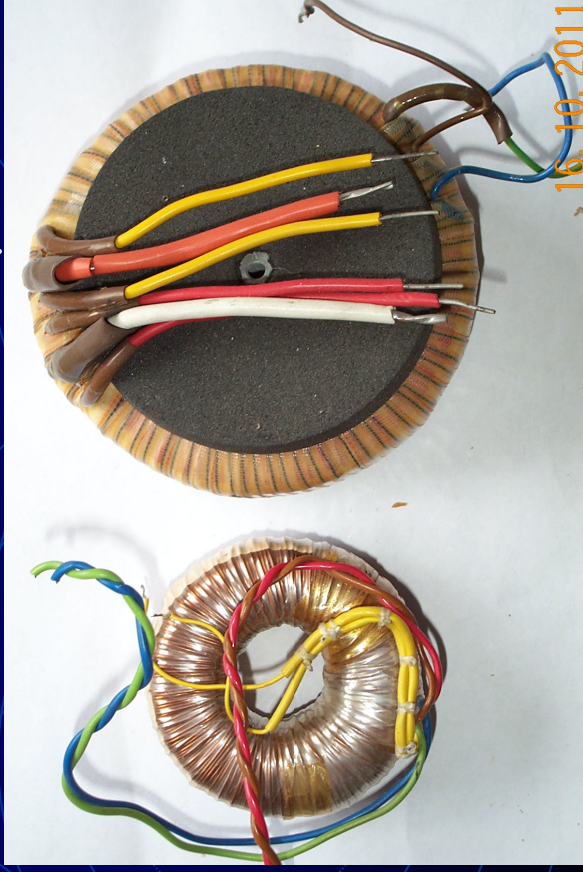
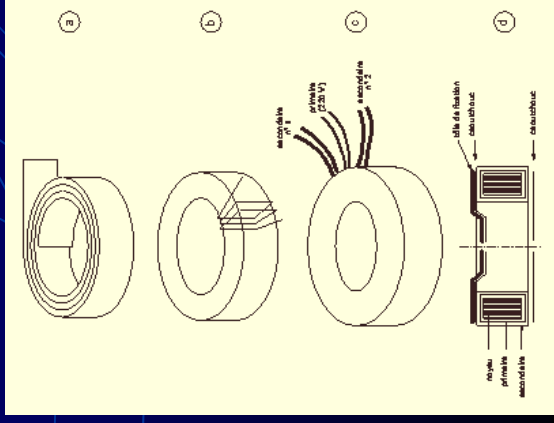


Le transformateur

- Les transformateurs toriques
 - Tôles similaires aux circuits en C - Calcul section noyau « Fe » identique aux « C »
 - Diminution du flux de fuite - pas de discontinuité du circuit magnétique.
 - Rayonnement pratiquement nul = avantage pour les amplis BF - Pas de ronflement.
 - !! Attention respecter l'isolement de la fixation, sinon spire en Ct.Ct. autour du transfo !!

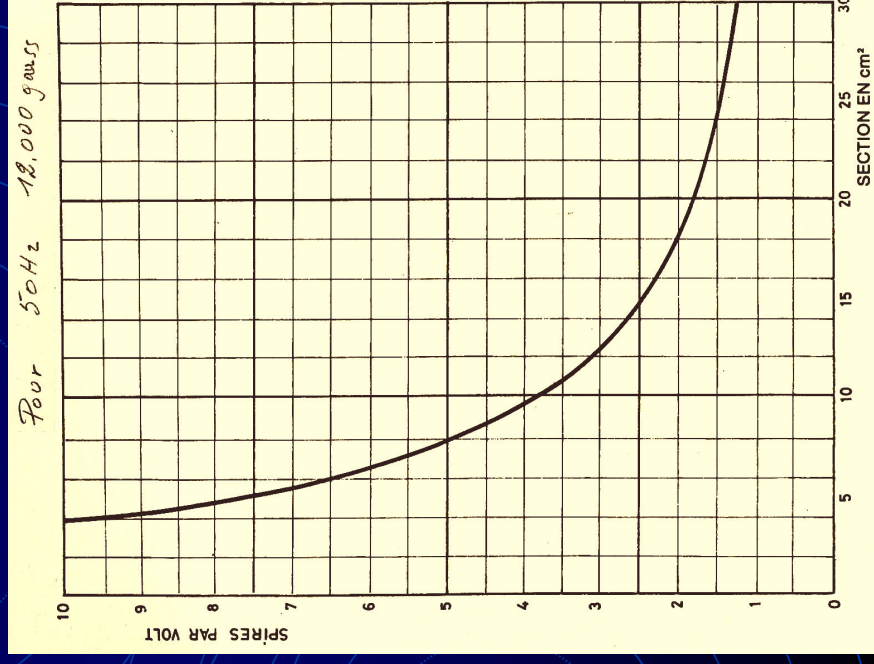


Transformateur de
Déri-Bláthy-Zipernovski,
Budapest, 1885



Le transformateur

- Calcul du nombre de spires: $N = U \times 10^8 / 4,4 \times f \times Q_e \times B$
 - N: nombre de spires
 - U: tension en V
 - F: fréquence en Hz
 - Qe: section effective du noyau « fe » en cm²
 - B: induction en Gauss
 - Induction:
 - 10.000 pour les tôles ordinaires (anciens trf)
 - 12.000 pour les tôles récentes
 - 16.000 (17.000) pour les tôles à grains orientés.



Nombre de spires par volt pour un courant à 50 Hz et une induction d'environ 12 000 gauss

Section effective en cm ²	Nombre de tours par volt
4	9,5
6	6,3
8	4,7
10	3,8
12	3,2
14	2,7
16	2,4
18	2,1
20	1,9
22	1,7
24	1,6
26	1,5
28	1,4
30	1,3

Le transformateur

- Rendement des transfos
 - Lors du calcul de la tension secondaire, tenir compte du rendement qui se manifeste par une chute de tension en charge.
 - Transfo 75 VA la tension diminue de 10% donc il faut augmenter les tensions secondaires de 10 %
 - Pour le primaire, tenir compte du rendement et augmenter la puissance en conséquence donc de 10% dans le cas présent

Chute de tension à prévoir suivant la puissance

Puissance en VA	Chute de tension en %
5	20
10	17
25	15
50	12
75	10
100	9
150	8
200	7,5
300	7
400	6,5
500	6

Le transformateur

- Détermination de la section des fils Cu
- Densité de courant admissible:
- Section du fil

La section du fil est égale à :

$$s = \frac{I}{D}$$

s = section du fil en mm^2

I = intensité en A

D = densité de courant en A/mm^2 .

Puissance en VA	Densité de courant maximum en A/mm^2
0 à 50	4
50 à 100	3,5
100 à 200	3
200 à 500	2,5
500 à 1 000	2

*En Régime -
Permanant.*

Le transformateur

• Détermination du diamètre des fils Cu

$$S = \pi R^2$$

$$\text{ou } S = 0,78 d^2$$

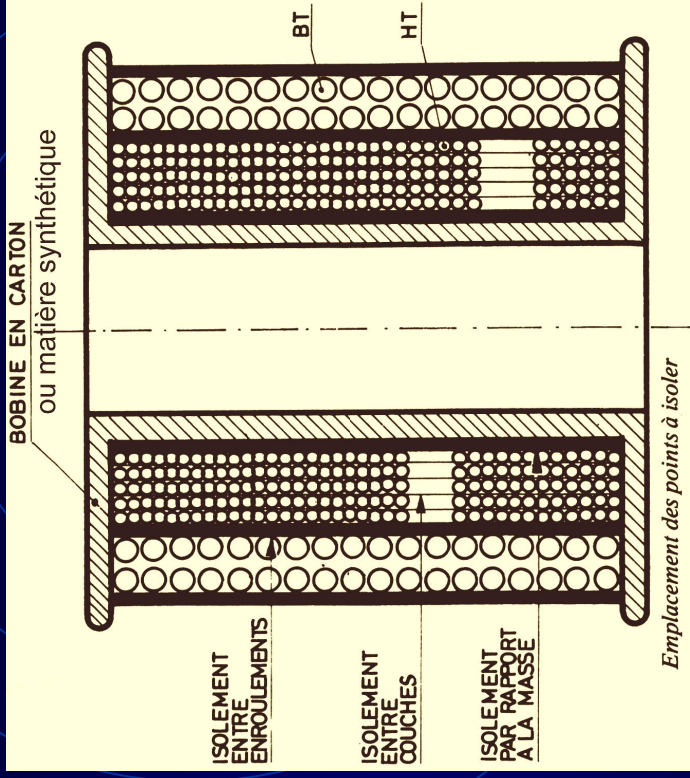
s en fonction de d

d = diamètre en mm	s = section en mm ²
7/100	0,0038
8/100	0,0050
9/100	0,0063
10/100	0,0078
12/100	0,0113
14/100	0,015
15/100	0,017
18/100	0,025
20/100	0,031
22/100	0,038
25/100	0,049
30/100	0,070
35/100	0,096
40/100	0,125
45/100	0,159
50/100	0,196
60/100	0,283
70/100	0,38
80/100	0,50
10/10	0,78
11/10	0,95
12/10	1,13
13/10	1,33
14/10	1,54
15/10	1,77
16/10	2,01
17/10	2,27
18/10	2,54
19/10	2,84
20/10	3,14
22/10	3,80
25/10	4,90
30/10	7,06

Diamètre du fil nu en mm	Diamètre du fil isolé en mm (1)	Spires par cm ²	Résistance par kg à 20 °C	Résistance par km à 20 °C
d _h	d _i			
10/100	0,115	5 500	30 800	2 270
12/100	0,14	4 000	15 200	1 580
13/100	0,15	3 600	11 400	1 340
14/100	0,16	3 100	8 200	1 160
15/100	0,17	2 800	6 100	1 000
16/100	0,18	2 500	4 770	890
18/100	0,20	2 070	2 980	700
20/100	0,22	1 720	1 960	565
22/100	0,245	1 400	1 350	470
25/100	0,275	1 140	810	360
30/100	0,325	810	390	250
35/100	0,38	590	212	185
40/100	0,43	470	125	142
50/100	0,535	305	52	91
60/100	0,64	215	25	63
70/100	0,74	160	13,4	46
80/100	0,84	125	7,8	35
90/100	0,95	100	4,9	28
10/10	1,05	82	3,22	23
11/10	1,16	68	2,20	19
12/10	1,26	58	1,55	16
13/10	1,36	50	1,12	13,5
14/10	1,46	44	0,84	11,6
15/10	1,56	39	0,63	10,1
16/10	1,66	33	0,50	8,88
18/10	1,87	26	0,31	7,03
20/10	2,07	20	0,23	5,68

Le transformateur

Isolation

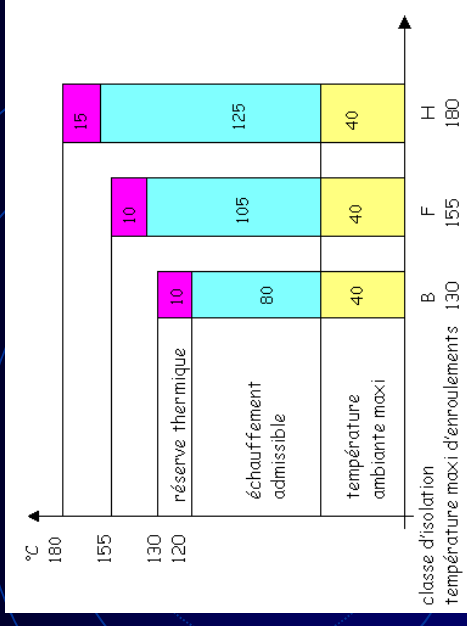


Isolant épaisseur en mm	Tension de perçement en volts
Papier cristal (qualité condensateur 15/1 000)	500 V
Papier cristal 3/100	600 V
Papier cristal 4/100	750 V
Papier huilé 5/100	1 000 V
Papier kraft électr. 10/100	800 V
Toile huilée 5/100	3 000 V
Papier bakéliné 1/10	1 500 V
Papier bakéliné 5/10	7 500 V
Papier bakéliné 1 mm	15 000 V

Le transformateur

• Température max de fonctionnement:

Nature de l'isolant	Limite d'échauffement en degrés C
Enroulement isolés au coton, à la soie, au papier ou à toute autre matière analogue et non imprégnés.	50
Enroulements en fil émaillé	80
Enroulements isolés au coton, à la soie ou à toute autre matière analogue et imprégnés.	70



- Une température interne de l'ordre de 100°C pour des transfos courants, isolés avec des matériaux synthétiques, est un ordre de grandeur max à ne pas dépasser; cela permet une petite réserve en cas de surcharge.
- Cette température de 100°C correspond à un échauffement de 80°C pour une température de 20 °C
- Pour les isolements « papier-carton », ne pas dépasser 70°C ce qui correspond à un échauffement de 50°C à une température ambiante de 20°C
- Il s'agit de la température interne du transfo; la température externe sera plus faible de ~ 15 - 20°C.
- Un dépassement de la température limite de 8-10°C, diminue la durée de vie de l'isolation d'environ la moitié. Des dépassements de 20°C signifient un raccourcissement de 75 %.

Le transformateur

Mesure de la température interne d'un transfo

- Application de la loi de Matthiessen
- Prendre le bobinage primaire, mesurer la température à froid = 20°C
- Lorsque la température du transfo est en régime, mesurer directement sa résistance à chaud
- Nous considérons que cette variation de température a atteint son maximum au bout de 2 heures de fonctionnement continu.
- Pour la calculer, nous utilisons la méthode dite par variation de résistance.

$$\Delta T = \frac{\Delta R}{R} (234,5 + T_a) - (T_1 - T_a)$$

- R = Résistance de la bobine à température ambiante avant la mise sous tension (exprimée en Ohms - Ω).
- R' = Résistance de la même bobine après 2 heures de fonctionnement du moteur.
- $\Delta R = R' - R$ = Elévation de la résistance de la bobine.
- T1 = Température ambiante à la fin de l'essai.
- Ta = Température ambiante au début de l'essai.

Le transformateur

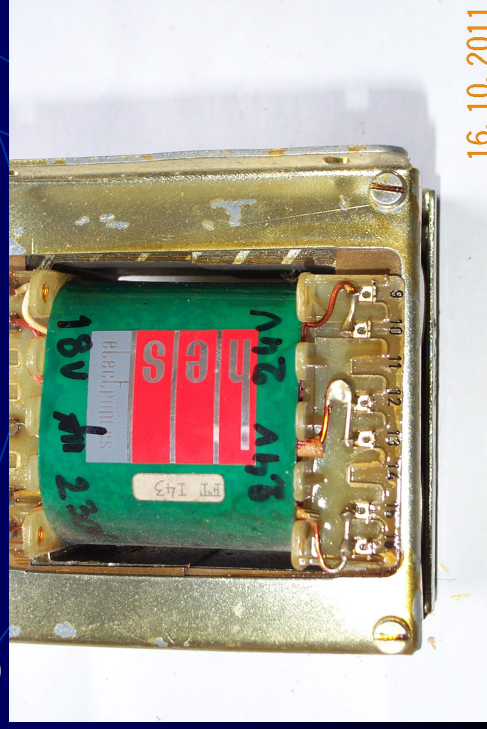
Détermination des paramètres d'un transformateur inconnu

- **!! Les essais se font sous la tension secteur et certains secondaires peuvent fournir de la HT - plusieurs centaines de volt; la plus grande prudence s'impose dans les manipulations. !!**
- Déterminer la puissance du transfo en fonction des caractéristiques du noyau et du type de circuit magnétique.
- Le bobinage primaire est en général le plus près du noyau, viennent ensuite la HT et les bobinages BT
- Etablir les interconnexions possibles des bobinages à l'aide d'un ohmmètre, établir un schéma et les résistances mesurées entre les bornes et diamètre du fil rencontré. En général les bornes primaires - secondaires sont opposées.
- Brancher le bobinage supposé « primaire » sur le secteur via un rhéotor et un ampèremètre, monter en tension et mesurer le courant; relever la courbe du courant à vide. La tension d'alimentation nominale doit être sous le seuil de saturation.
- Si vous ne possédez pas de rhéotor, mettre en série une lampe à filament 230V 60-100 W en série avec le transfo; à la mise sous tension la lampe ne doit pas s'éclairer ou seulement très faiblement.
- Tout bruit suspect (ronflement - grésillement) ou odeur suspecte est le signe d'un problème et nécessite une mise hors tension immédiate.
- Si les essais ci avant son positifs, relever les tensions à vide des différents secondaires.

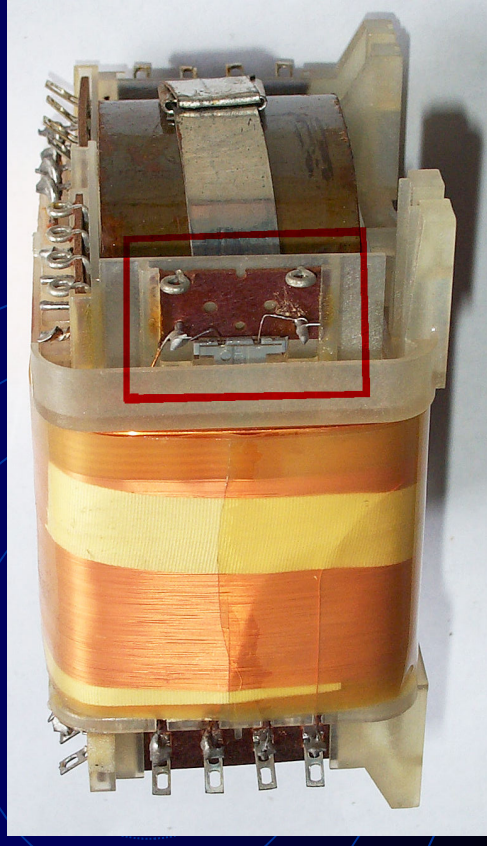
Le transformateur

Détermination des paramètres d'un transformateur inconnu

- Si les fils des bobinages sont visibles, une mesure de leur diamètre par pied à coulisse est possible, ce qui vous permettra de déterminer le courant possible du bobinage.
- Attention, de nombreux transfos ont plusieurs bobinages primaire qui peuvent être interconnectés série - parallèle. (110 - 130 - 220 - 230 - 240)
- En principe tous les bobinages primaires sont bobinés en couche successives ou sur une seule partie du noyau (transfos récents double isolation)
- Pour certains transfos il existe un écran électrostatique entre primaire et secondaire. Ces écrans est à relier à la masse du montage - terre et limite le transfert des parasites primaire - secondaire.
- Certains transformateurs sont équipés d'une protection thermique - ci-dessous à droite - rouge



16.10.2011



Le transformateur

Démontage d'un transformateur et adaptation des tensions

- Transformateurs EI
- Transformateur double C
- Détermination des tensions à partir d'un bobinage de faible tension; compter le nombre de spires lors du démontage et appliquer la règle de trois pour déterminer le nombre de spires du nouveau bobinage.

