

# Микро- трансформаторы

---



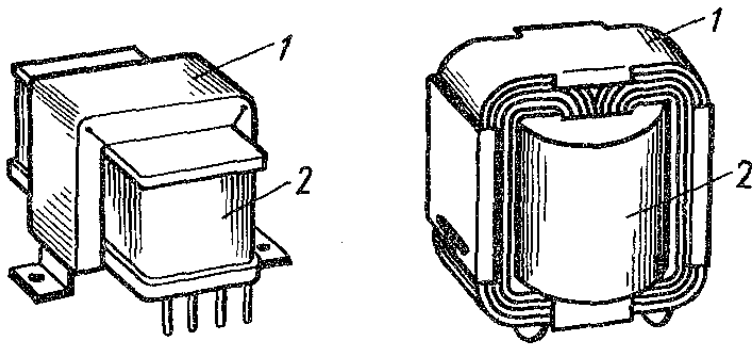
# Особенности конструкции микротрансформаторов

# Особенности конструкции микротрансформаторов

## Магнитопровод

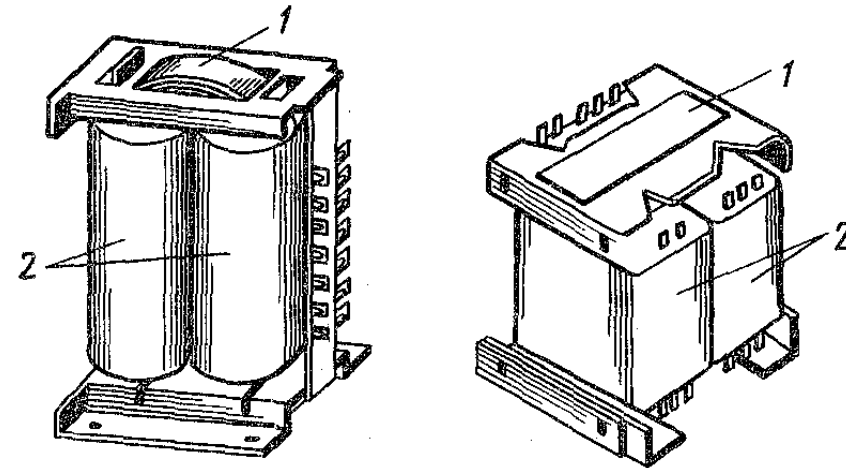
### » Броневые трансформаторы

- более низкая стоимость (меньше число катушек, проще сборка и изготовление)



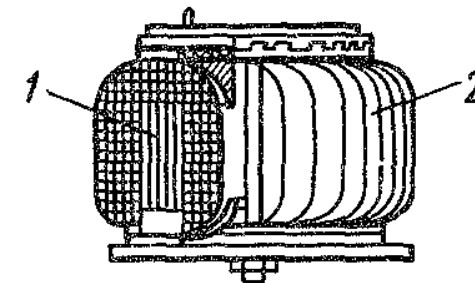
### » Стержневые трансформаторы

- однофазные, но с двумя катушками



### » Тороидальные трансформаторы

- отсутствуют зазоры в магнитопроводе → меньше ток ХХ
- малые потоки рассеяния

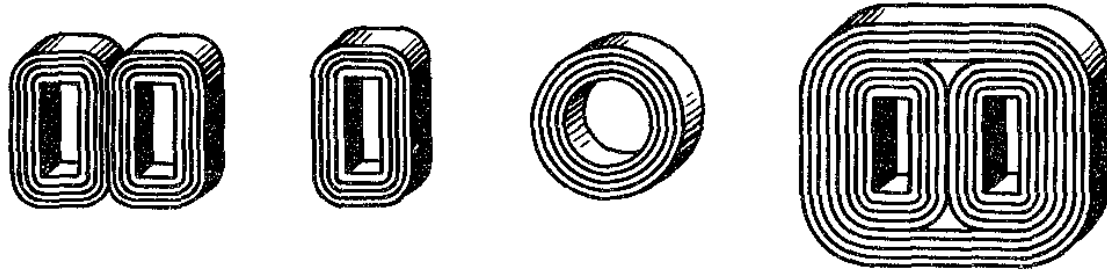


# Особенности конструкции микротрансформаторов

## Магнитопровод

» Ленточные магнитопроводы

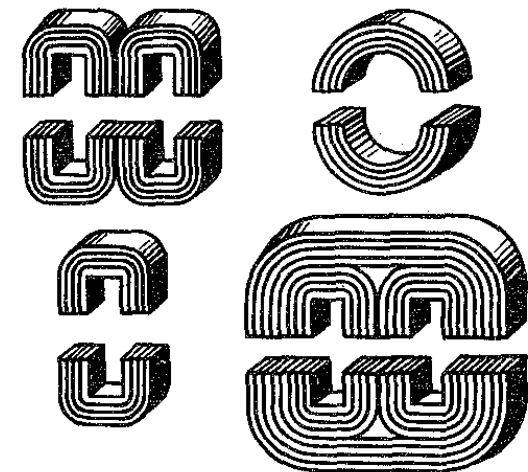
Лента холоднокатанной стали с наибольшим  $\mu$  по направлению проката



В ленточном магнитопроводе поток всегда проходит в направлении прокатки

- снижение потерь на гистерезис (в 3...4 раза)
- уменьшение шума
- уменьшение намагничивающего тока

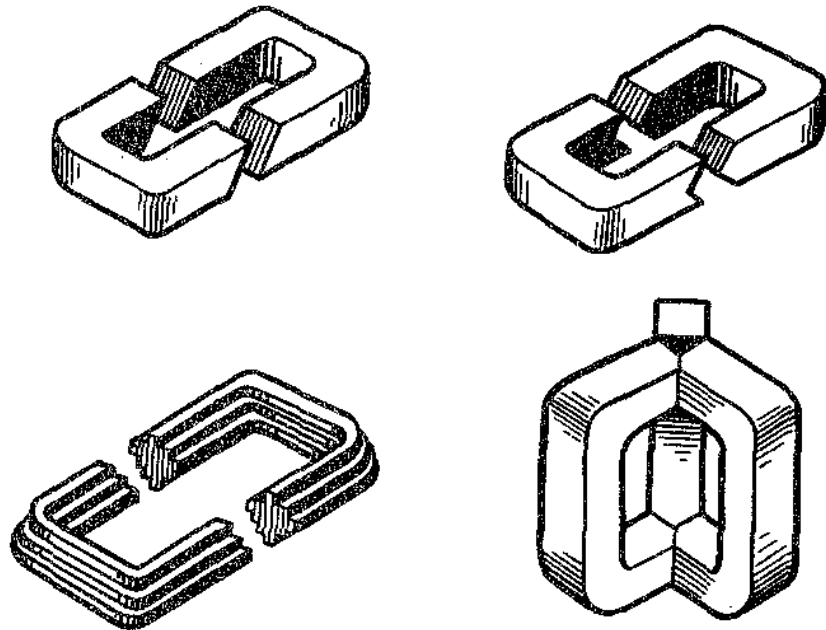
Разъемные ленточные магнитопроводы  
торцы шлифуют  
и склеивают компаундом  
с ферромагнитным наполнителем



# Особенности конструкции микротрансформаторов

## Магнитопровод

- » Специальные конструкции ленточных магнитопроводов



Для улучшения охлаждения,  
повышения механической прочности,  
уменьшения магнитного сопротивления

# Особенности конструкции микротрансформаторов

## Магнитопровод

Для высокочастотных трансформаторов

- » более тонкая лента
  - меньше потери на вихревые токи
  - больше потери на гистерезис
  - снижается коэффициент заполнения сталью
- » пониженное значение индукции
  - уменьшение потерь (нагрева)

Аморфная сталь: лента толщиной 0,02...0,03 мм без кристаллической структуры

- » имеет очень малые магнитные потери
- » допускает индукцию до 1,2 Тл
- » применяется в трансформаторах до 20 кГц

Частота, Гц	50	150	400	1000	5000
Толщина ленты, мм	0,3...0,35	0,2	0,1...0,15	0,08	0,05
Макс.индукция, Тл	1,4...1,6	1,2...1,4	1,0...1,2	0,3...0,5	0,2...0,3

При  $f > 1000$  Гц и  $B < 0,4$  Тл используют литой магнитопровод из ферритов

- нет потерь на вихревые токи
- хрупкий материал
- малая температура Кюри (150-250 °C)

# Особенности конструкции микротрансформаторов

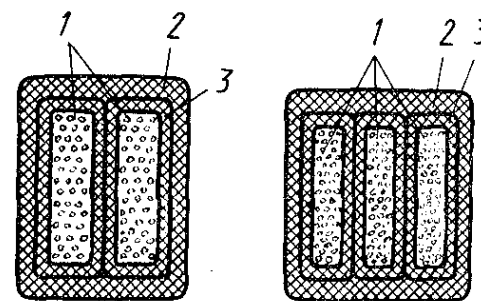
## Обмотки

Маломощные силовые трансформаторы

- » многослойные обмотки из круглого провода с эмалевой изоляцией + пропитка лаком и сушка

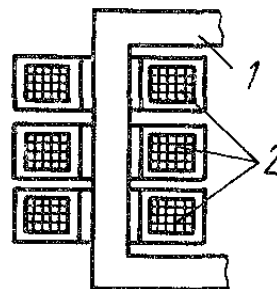
Высокочастотные трансформаторы

- » расщепленные многожильные провода (для снижения дополнительных потерь от вытеснения тока)
- » обмотки из алюминиевой фольги с оксидной изоляцией



Для массового производства – галетные обмотки

- » состоят из унифицированных элементов
- » можно набирать нужное число галет на стержне
- » можно включать последовательно или параллельно



# Особенности работы микротрансформаторов



# Особенности работы микротрансформаторов

Приоритет при проектировании микротрансформаторов

- » минимальная масса и объем
- большая индукция в магнитопроводе

При малых габаритах – относительно большая доля немагнитных промежутков на всем пути потока

- существенное увеличение тока ХХ  
(при  $f = 50$  Гц ток ХХ  $I_0 = 20...30\%$  от  $I_{НОМ}$ )

Ток ХХ – намагничивающий ток

Намагничивающий ток пропорционален  
намагничивающей мощности  
(а  $I_{НОМ}$  пропорционален  $S_{НОМ}$ )

Намагничивающая мощность – через  
удельную намагничивающую мощность и массу стали

$$\frac{I_0}{I_{НОМ}} \approx \frac{I_{\mu}}{I_{НОМ}} \sim \frac{Q_{\mu}}{S_{НОМ}} \sim \frac{q_{\mu} M_{ст}}{S_{НОМ}} \sim \frac{l^3}{l^4} = \frac{1}{l}$$

- масса стали пропорциональна  $l^3$
  - $S_{НОМ}$  пропорциональна  $l^4$
- Намагничивающий ток растет с уменьшением размеров

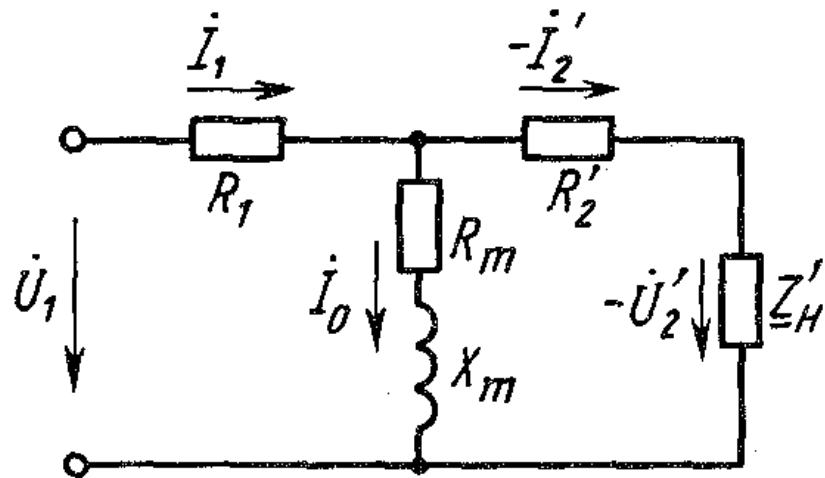
Повышенная частота способствует снижению  $I_0$

# Особенности работы микротрансформаторов

В микротрансформаторах при  $f = 50$  Гц потоки рассеяния относительно малы  
→ индуктивными сопротивлениями  $x_1$  и  $x'_2$  можно пренебречь

В схеме замещения – только активные сопротивления обмоток  $R_1$  и  $R'_2$

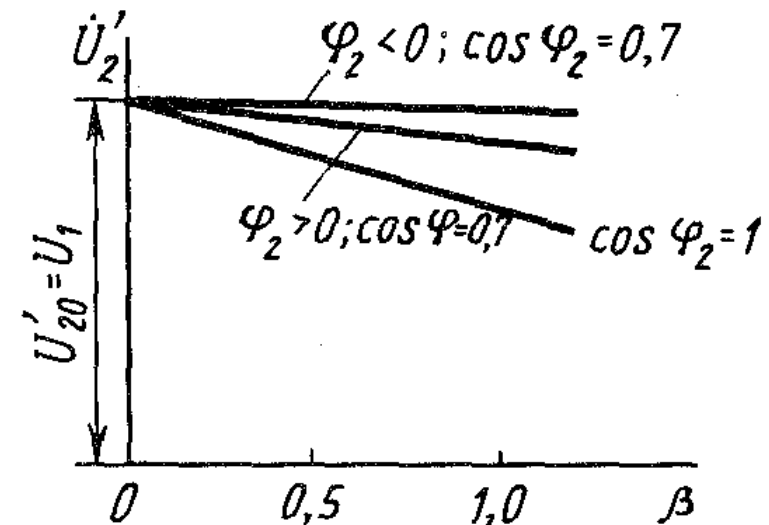
- » напряжение КЗ  $u_{к.а} = u_{к.а}$
- » сопротивление КЗ  $Z_{к.к} = R_{к.к}$



Изменение напряжения трансформатора при нагрузке

$$\Delta u\% = \beta(u_{к.а} \cos \varphi_2 + u_{к.р} \sin \varphi_2) = \beta \cdot u_{к.а} \cos \varphi_2$$

Внешние характеристики



# Особенности работы микротрансформаторов

Напряжение короткого замыкания

$$u_{к.а} = \frac{I_{НОМ} R_K}{U_{1НОМ}} = \frac{I_{НОМ}^2 R_K}{I_{НОМ} U_{1НОМ}} = \frac{\Delta P_{ЭЛ}}{S_{НОМ}}$$

При уменьшении размеров трансформатора поверхность охлаждения уменьшается медленнее, чем его объем (и пропорциональное количество выделяемой теплоты)

Поэтому для сохранения теплового состояния трансформатора с уменьшением мощности можно увеличить плотность тока и индукцию  
т.е. уменьшить сечения, что еще больше снижает объем

Увеличение плотности тока приводит к росту  $R_K$  и возрастанию  $\Delta P_{ЭЛ}$

Поэтому падение напряжения в микротрансформаторах более значительно

$$\Delta u \% = \beta \cdot u_{к.а} \cos \varphi_2$$

Кроме того, активная нагрузка вызывает большее  $\Delta u$ , чем реактивная

Коэффициент полезного действия в микротрансформаторах снижается из-за относительного увеличения потерь

# Особенности расчета микротрансформаторов

# Особенности расчета микротрансформаторов

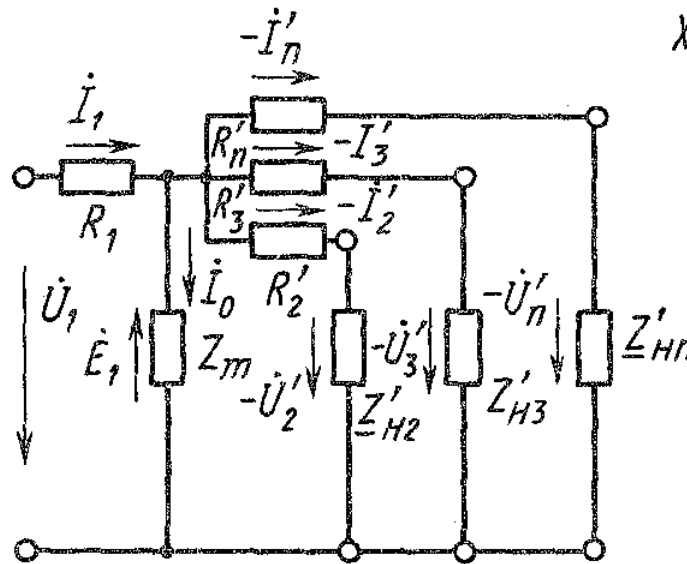
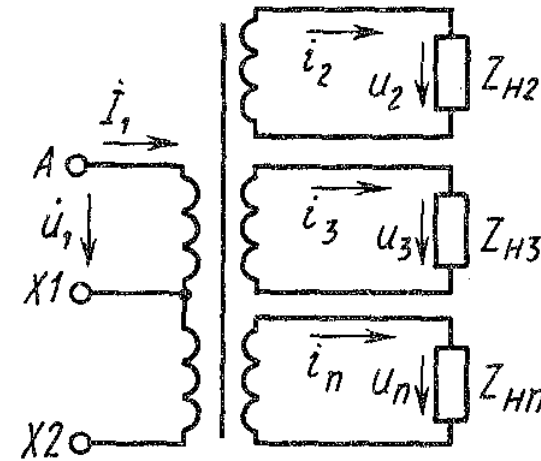
Микротрансформаторы часто делают многообмоточными

- » одна первичная обмотка
- » несколько вторичных (для разных нагрузок)

Первичная обмотка может иметь несколько отводов для включения трансформатора на разные напряжения сети (220В, 110В)

В схему замещения включают несколько лучей для вторичной цепи


Параметры вторичных цепей ( $R'_n$ ,  $Z'_n$ ) должны быть приведены к числу витков первичной обмотки




# Далее

---

## ЭМ гироскопических систем

 Ширинский С.В.  
каф. ЭМЭЭА, НИУ «МЭИ»

 ShirinskiiSV@mpei.ru

 [elmech.mpei.ac.ru/EMAU/](http://elmech.mpei.ac.ru/EMAU/)  
([srv0-5.mpei.ac.ru/EMAU/](http://srv0-5.mpei.ac.ru/EMAU/))

