

**“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini  
mexanizatsiyalash muhandislari instituti”  
Milliy tadqiqot universiteti**

**FAN:**

**Elektrotexnologiya**

**MAVZU**

**Induksion qizitish usuli**



**Markayev Nuriddin Murodovich**

**E-mail: [markayev88@mail.ru](mailto:markayev88@mail.ru)**



**“Elektrotexnologiya va elektr uskunalar  
ekspulatsiyasi” kafedrasida katta  
o‘qituvchisi t.t.t.d., (PhD).**



## ***Ma'ruza mashg'ulotining maqsadi:***

**Induksion qizitish usulining fizik mohiyati, xususiyatlari, ko'llanish soxalari, qizitish uskunalari hisobi to'g'risida ko'nikma hosil qilish.**

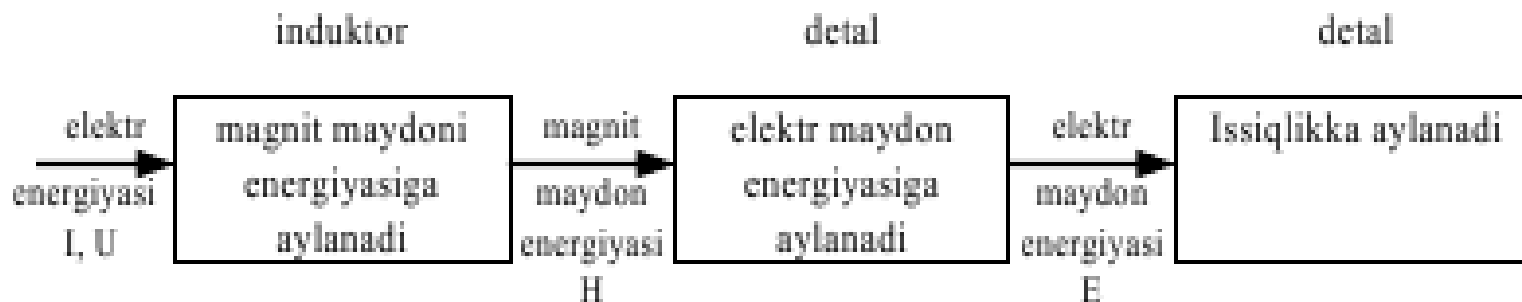


# INDUKSION QIZITISH USULI

- 1.Xususiyatlari va qo‘llanish sohalari**
- 2.Induksion texnologiyaning energiya taxlili.**
- 3.Asosiy fizik va energetik qonuniyatlar**
- 4.Uskunalarni tanlash**



**Induksion qizitish tok o'tkazuvchan jismlarning elektromagnit maydonida uyurma toklarini induksiyalash hisobiga qizishidir.**



**Metallarni induksion qizitish ikki fizik qonunlar:**

- 1. Faradey-Maksvel elektromagnit induksiyasi qonuni**
- 2. Joule-Lens qonunlariga asoslangan.**



Индукцион қизитишнинг принципиал схемаси қуйидагича: индуктор, ҳаво оралиғи ва қиздириладиган детал.

Индуктор қиздирилаган деталга таъсир қилувчи вақт бўйича ўзгарувчан магнит оқим ҳосил қилади.

Қиздириладиган деталда ЭЮК ( $E$ ) пайдо бўлади, бу эса уюрма тоқларнинг ( $I$ ) пайдо бўлишини ва қувватнинг ( $P$ ) ажралишини таъминлайди.

$$E = 4,44\Phi wf \cdot 10^{-8}, \quad P = \frac{E^2 R}{Z^2}$$

Бунда,  $E$  – қиздириладиган деталда ҳосил бўладиган ЭЮК, В;  $\Phi$  – индуктор томонидан ҳосил қилинган магнит оқим, Вб;  $w$  – индуктордаги ўрамлар сони, дона;  $f$  – таъминловчи манба частотаси, Гц;  $P$  – қиздириладиган деталда ажраладиган қувват, Вт;  $R$  – қиздириладиган детал қаршилиги, Ом;  $Z$  – занжирнинг тўла қаршилиги, Ом.

Индукция ЭЮК таъсирида жисмларда уюрмали (жисм ичида туташадиган) ток оқиши натижасида Жоул-Ленц қонунига асосан иссиқлик ажралади.

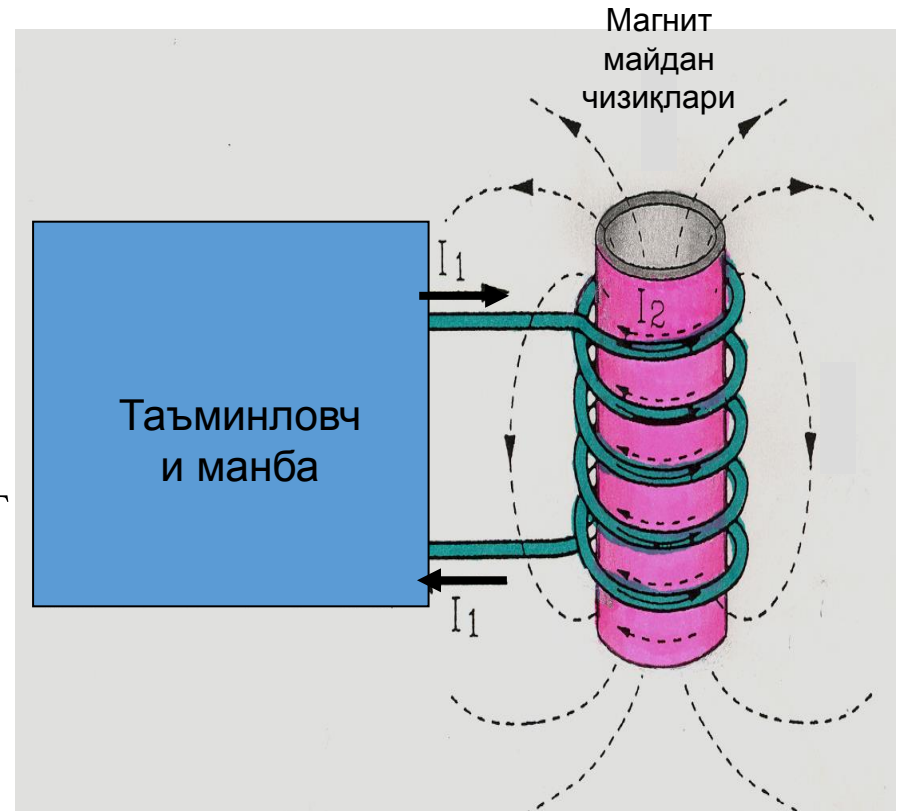
Индукцион қизитиш бевосита ва контактсиздир. У жуда қийин эрийдиган металллар ва қотишмаларни ҳам эрита оладиган ҳароратга эришиш имконини беради.

Жадал индукцион қизитишга фақат юқори кучланиш ва частотали электромагнит майдонда махсус қурилма-**индукторлар** ёрдамида эришилади

# Индукцион қизитиш қандай ишлайди?

## Ҳодисалар кетма-кетлиги:

1. Манба индукторда ( $I_1$ ) ток ҳосил қилади
2. Индуктор токи (ампер-ўрам) магнит майдон ҳосил қилади. Майдон куч чизиқлари ҳар доим ёпиқ (табиат қонуни) ва ток йўналишига перпендикуляр текисликда ўтказгич атропофида жойлашган.
3. Ҳосил бўлган магнит майдон қиздириладиган деталнинг кўндаланг кесимида электр майдонини (кучланишни) ҳосил чиқаради.
4. Кучланиш қиздириладиган деталда индуктордаги ток оқимига тескари йўналишда оқадиган  $I$  ( $I_2$ ) уярма тоқларни ҳосил қилади.
5. Уярма тоқлар детални қиздиради



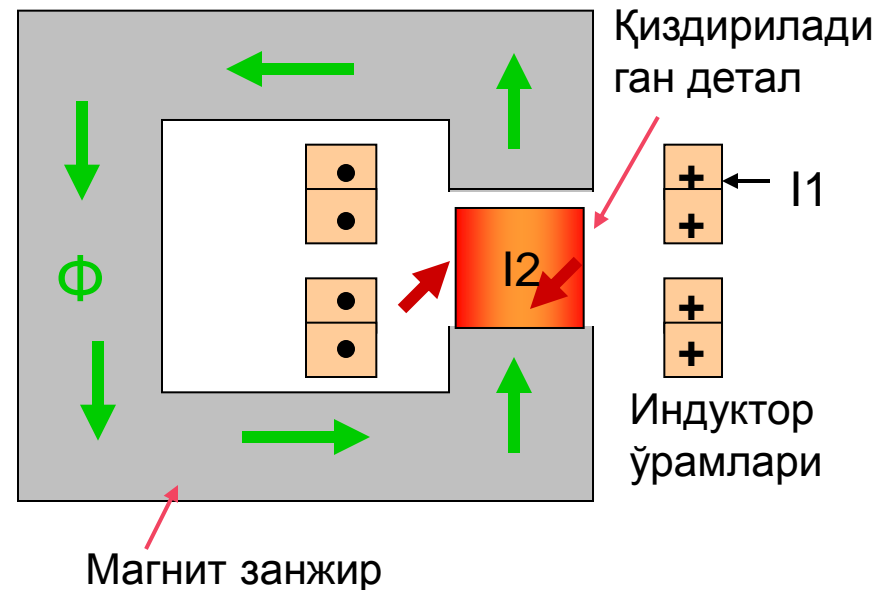
# Индукцион қурилмадаги тоқлар ва оқимлар

- Ҳар бир индукцион қурилмада учта ёпиқ занжир (берк контур) мавжуд:

Индуктор токи занжири ( $I_1$ )

Магнит оқим занжири ( $\Phi$ )

Уярма тоқлар занжири ( $I_2$ )

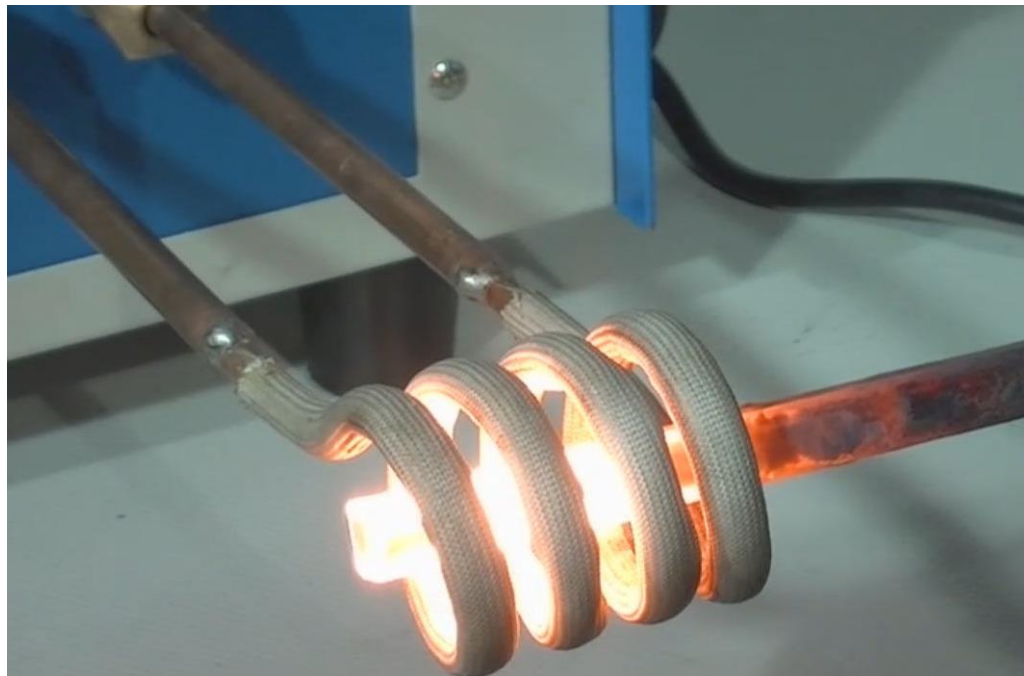




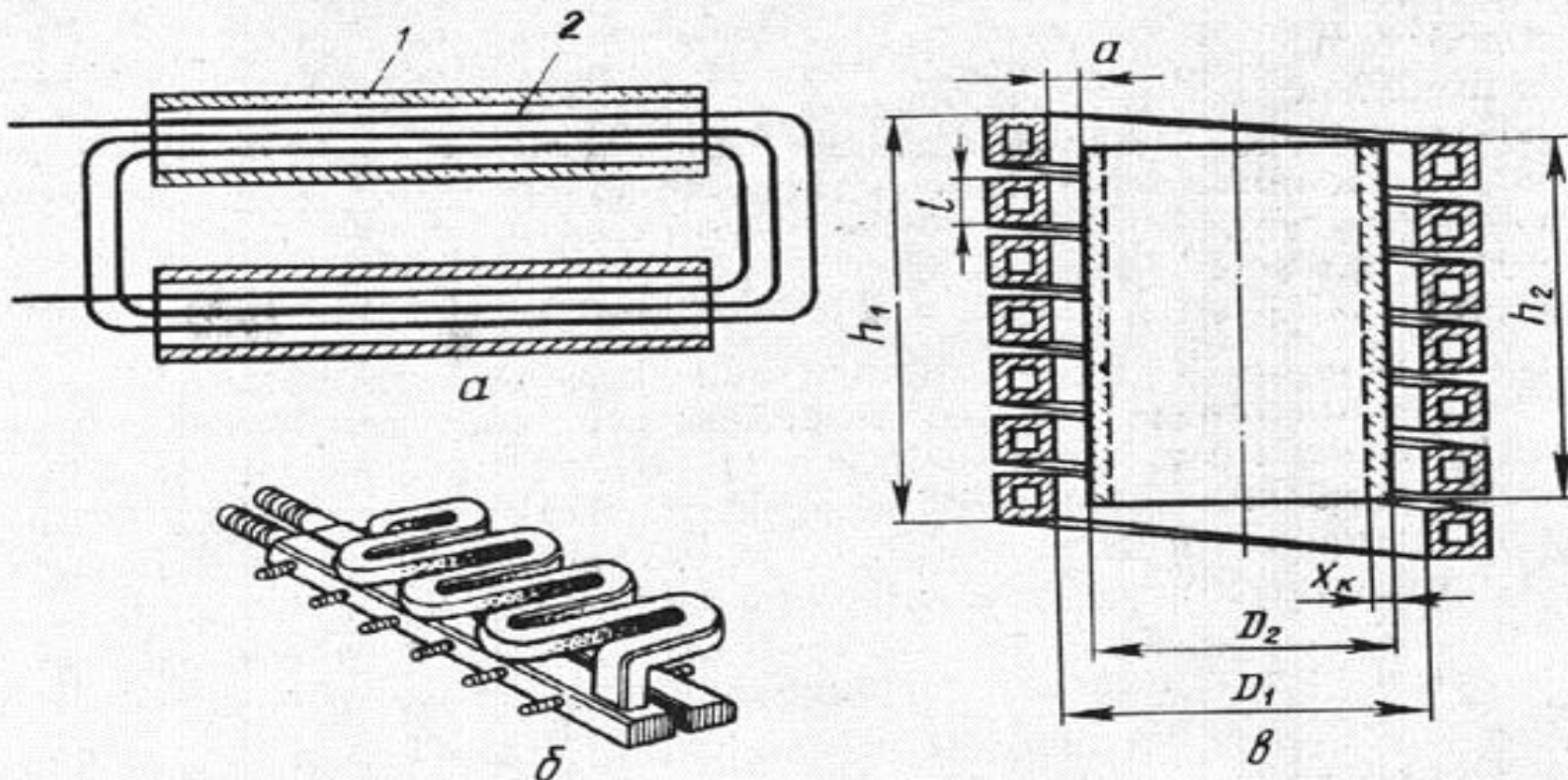
Металларни ўрта ва юқори частотада индукцион бевосита қизитиш кенг тарқалган. Бунинг учун махсус тайёрланган индукторлардан фойдаланилади. Индуктор ўзидан электромагнит тўлқин чиқаради, у қизитиладиган жисмга тушиб, унда сўнади. Ютилган тўлқинлар энергияси жисмда иссиқликка айланади.

«индуктор-детал» тизими -  
ўзаксиз трансформатор:

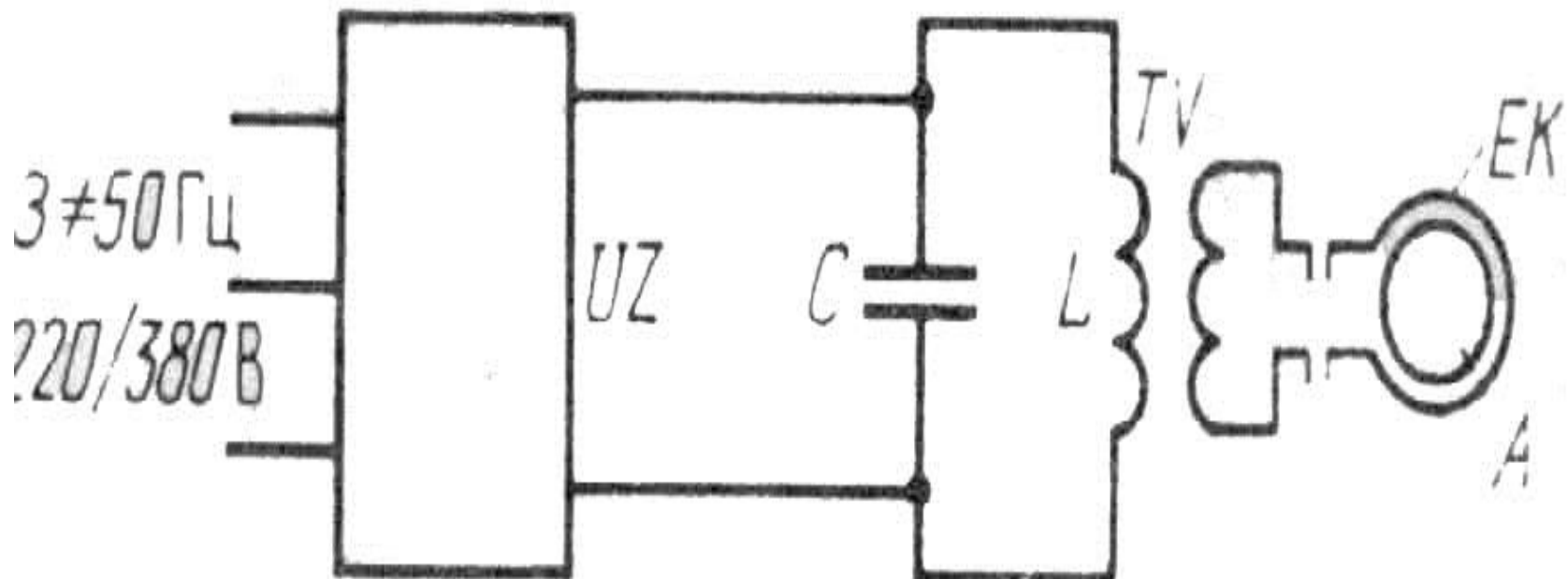
- *индуктор – бирламчи чулғам.*
- *детал – иккиламчи чулғам*



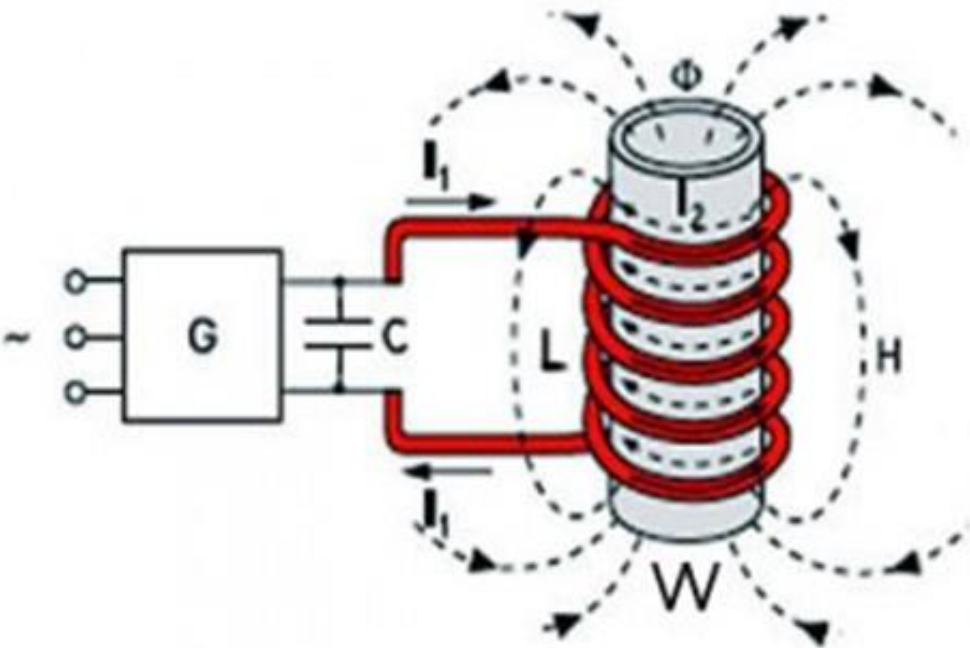
Одий индуктор



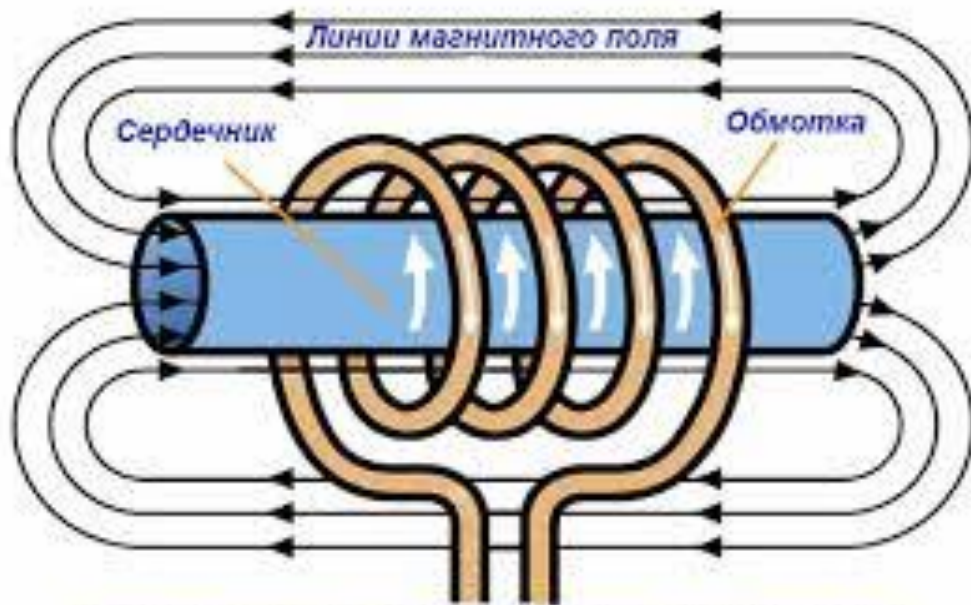
**7.1-расм. Индукторлар: а-саноат частотали; б-текис юзаларни тоблаш учун; в-цилиндр шаклидаги; 1-пўлат труба; 2-изоляцияли индукцияловчи сим.**



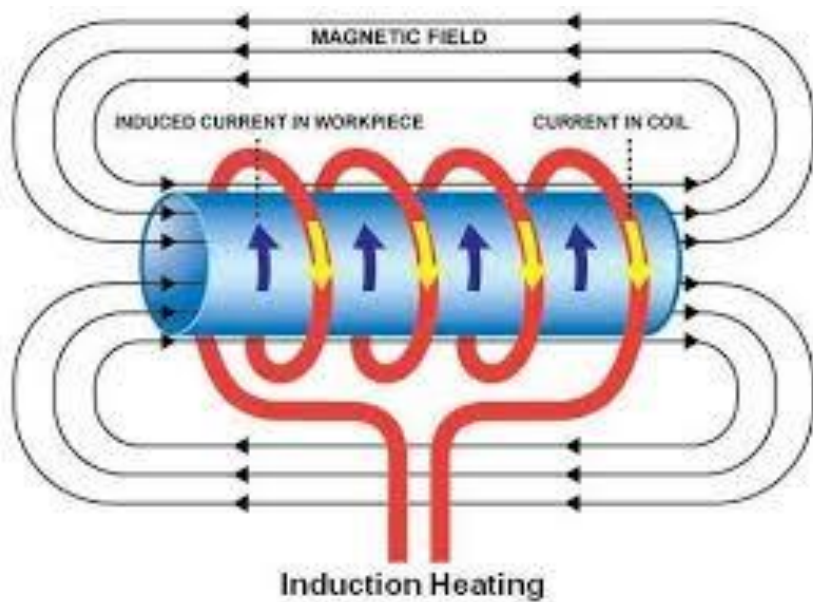
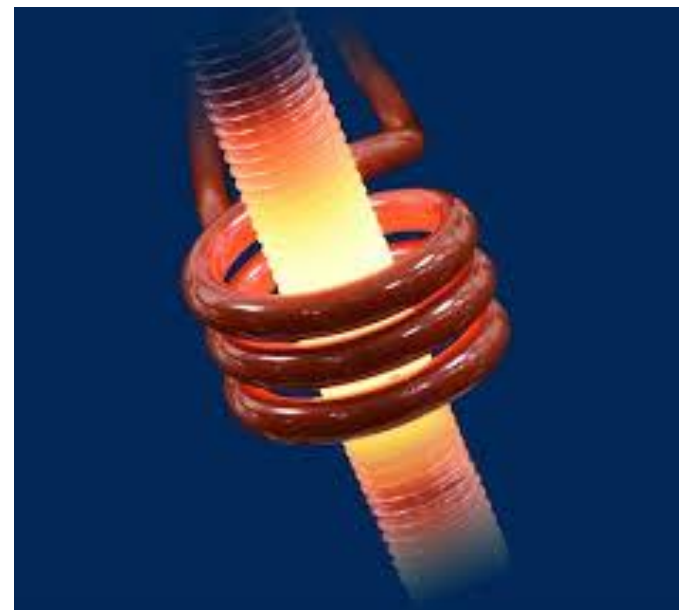
**Индукцион қизитиш ускунасининг принципиал электр схемаси.**

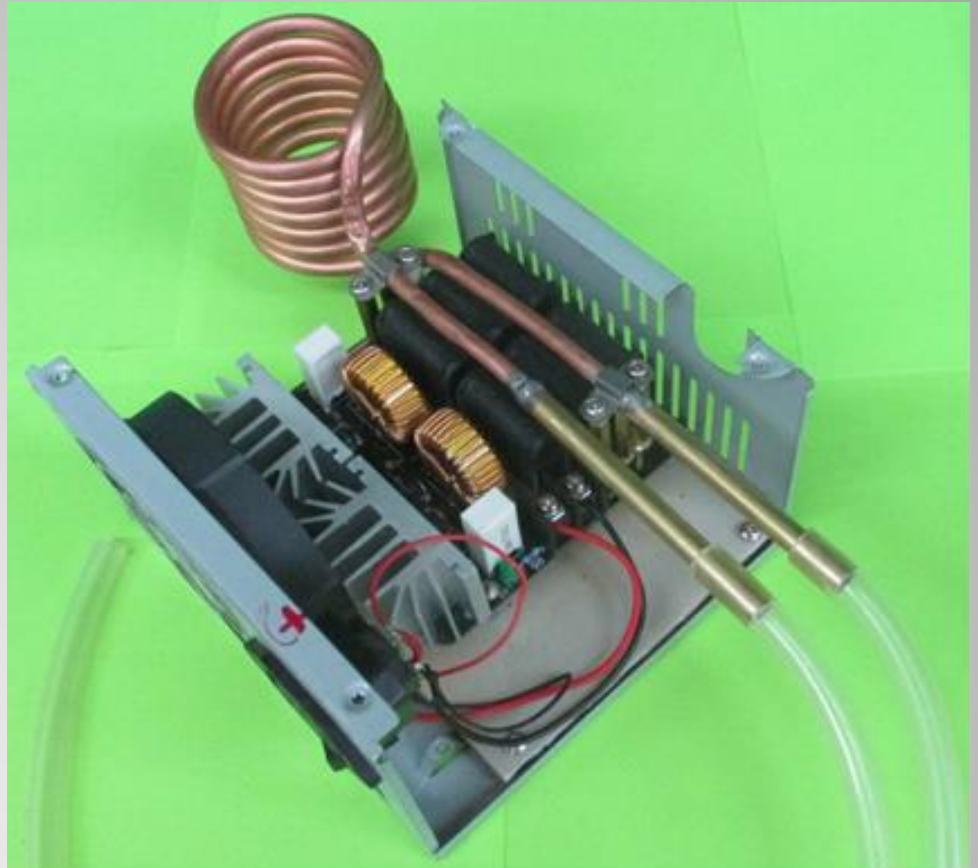






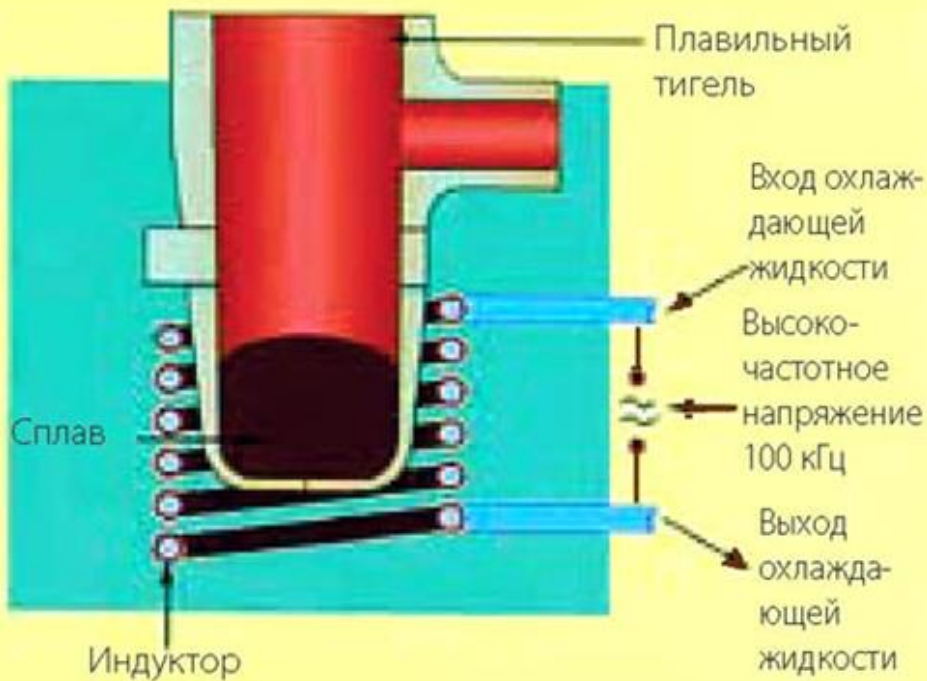
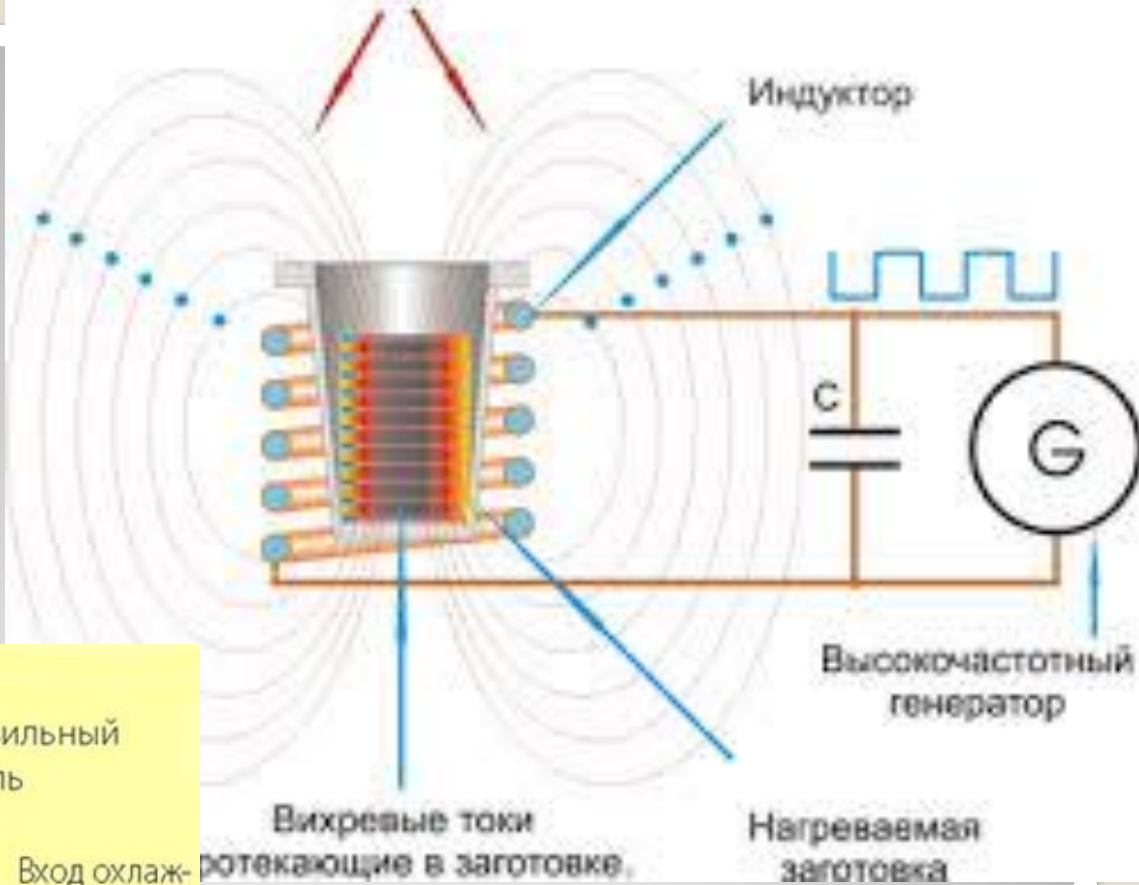
ПРИНЦИП РАБОТЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ





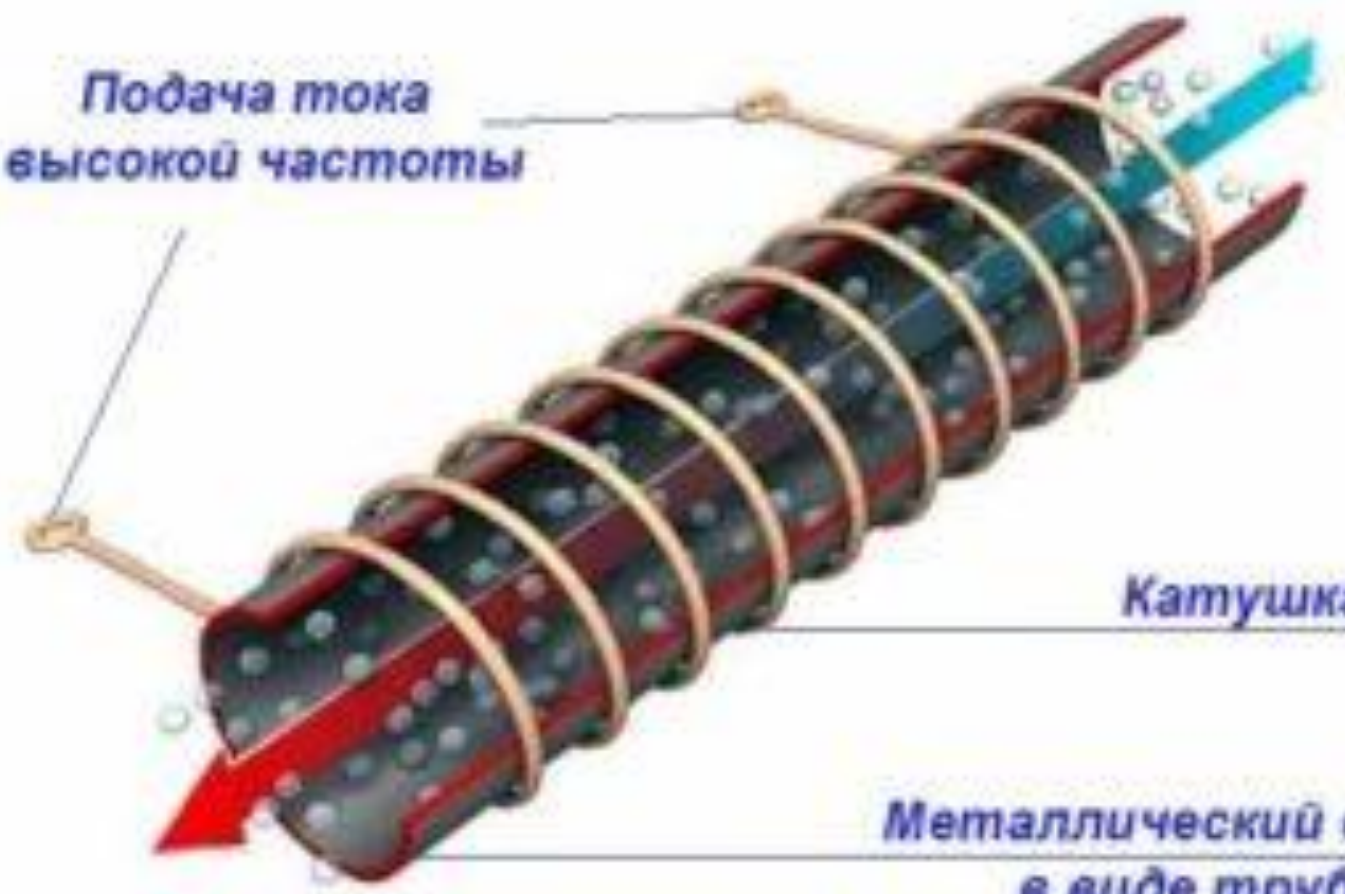


Силловые линии переменного магнитного поля индуктора



Подача тока  
высокой частоты

Течение  
жидкости



Катушка

Металлический сердечник  
в виде трубы

## **Индукцион қизитишнинг қўланиш сохалари**

- пўлат маҳсулотлар юзасини тоблаш;
  - пластик деформациялашда (штампллаш, прессллаш ва хоказо);
  - тўла қизитиш учун металларни эритиш;
  - термик ишлов бериш (тоблаш, юмшатиш, нормаллаштириш, мустахкамлигини ошириш);
  - пайвандлаш;
  - эритиб қуйиш;
  - кавшарлаш.
- билвосита қизитиш технологик ускуналарни (труба ўтказгичлар ва хоказо) иситиш, суюқ мухитларни қизитиш, қопламаларни, материалларни, масалан, ёғочни қуритиш учун қўланилади.



# Афзамиклари

1. Ўтказувчан материалларни бевосита қизитиш.
2. Юқори унумдорлик ва иш шароитларини яхшилиги.
3. Металларнинг куйиши ва ёниши камроқ.
4. Ҳавони ифлослантормайди, чунки ёнилғи маҳсулоти йўқ.
5. Ҳимояланган газли муҳитда, суюқликда, вакуумда қизитиш мумкин.
6. Ҳимояланган камера деворлари ичида қизитиш.
7. Индукторларнинг ҳажми кичиклиги туфайли эксплуатацияси қулай.
8. Индукторлар махсус шаклда тайёрланиши мумкин.
9. Локал ва танлаб қизитиш мумкинлиги.
10. Конвейер ишлаб чиқариш линиялари ва қурилмаларини автоматлаштириш осон. Қизитиш ва совутиш цикларини бошқариш осон. Ҳароратни ростлаш ва ушлаб туриш, қувватни ростлаш, деталарни узатиш ва олиш осонлиги.

## **Камчиликлари**

- 1. Қурилманинг мураккаблиги ошади.**
- 2. Индукторнинг қизитиладиган детал билан мослаштириш мураккаблиги туфайли қизитишга кўпроқ қувват сарфланади.**
- 3. Индукцион қизитиш тизимини таъминлаш учун кучли электр манбаи, шунингдек индукторни совутиш учун насос ва сув баки талаб этилади.**
- 4. Индукторнинг кичик ўлчамига қарамай умуман олганда жуда катта ва паст ҳаракатчан бўлиб, кўчма ишларга қараганда бино ичида стационар ўрнатишга мос келади.**

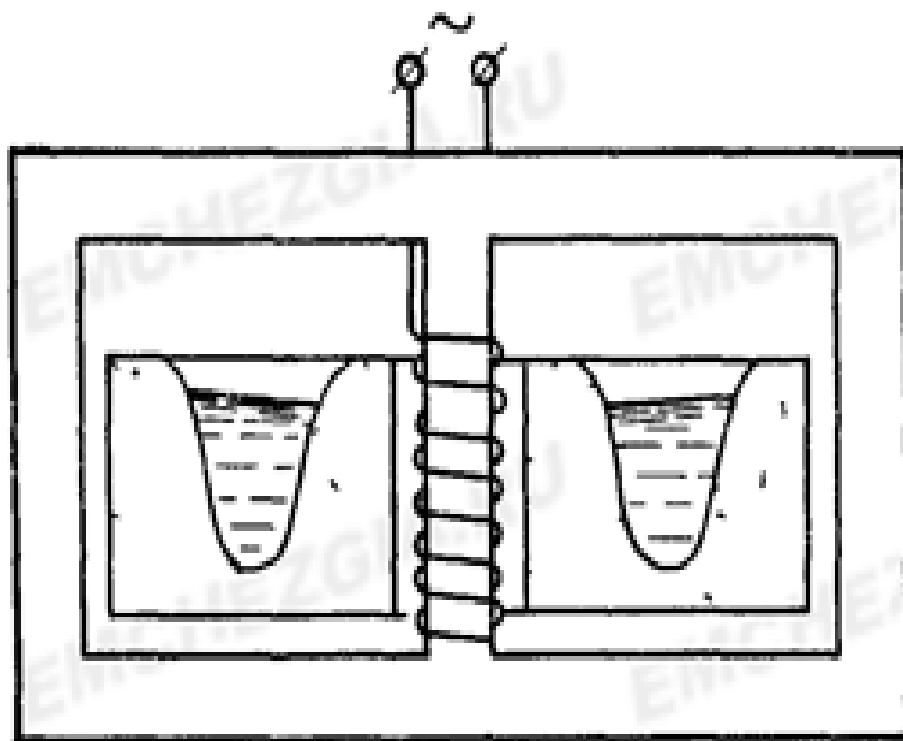
# Индукцион қизитиш қурилмалари

## 1) Индукцион плиталар

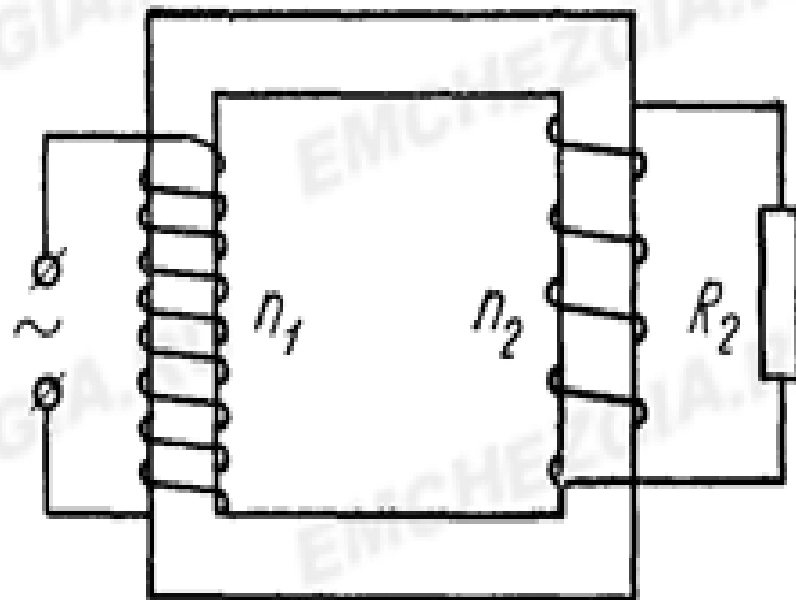


Индукцион плитанинг ишлаш принципи

## 2) Индукцион металл эритиш печлари



a



b

Индукцион каналли печ (a) ва трансформаторнинг  
схемаси

# Ускуналар классификацияси

1) Технологик мақсадига кўра индукцион қизитиш қурилмалари қуйидагича бўлади:

- металлларни эритиш учун эритиш печлари
- термик ишлов бериш учун қизитиш печлари (сиртни мустаҳкамлигини ошириш, юмшатиш),
- пластик деформациялашдан олдин детални қизитиш (ишлов бериш, штамповка)
- пайвандлаш учун
- кавшарлаш учун
- деталлар сиртини қизитиш учун
- Маҳсулотларга кимёвий-термик ишлов бериш учун.

# Индукцион қизитиш қурилмалари ток частотасининг ўзгариши бўйича

Саноат (паст)  
частотали

**50 Гц**

тармоқдан  
тўғридан тўғри  
ёки  
пасайтирувчи  
трансформатор  
орқали  
таъминланади

Ўрта частотали

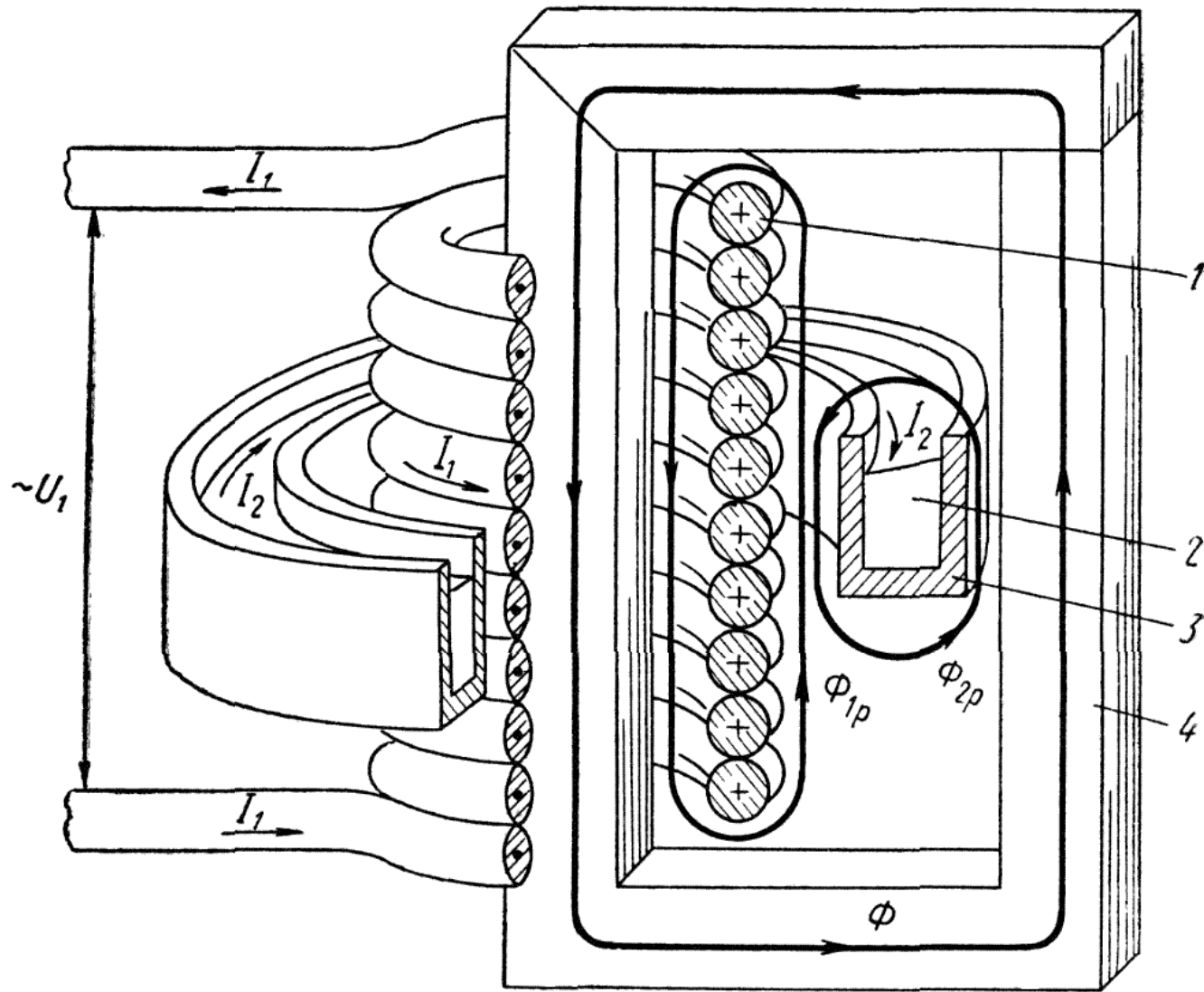
**500-  
10000 Гц**

электр машинали  
ёки ярим  
ўтказгичли  
ўзгартиргичлар  
орқали  
таъминланади

Юқори частотали

**66 000-440  
000 Гц ва 5  
МГц гача ,**

лампали  
электрон  
генераторлар  
орқали  
таъминланади.



Индукцион каналли печ қурилмасининг схемаси:

1 — индикатор; 2 — металл; 3 — канал; 4 — магнит ўтказгич;  $\Phi$  — асосий магнит оқим;  $\Phi_{1p}$  ва  $\Phi_{2p}$  — сочилган магнит оқим;  $U_1$  ва  $I_1$  — индуктор занжиридаги кучланиш ва ток;  $I_2$  — металлдаги ток кучи

Индукцион қизитиш ускуналари ўзида жараённинг (қизитишнинг) мақсади (механик ишлов бериш учун тўла қизитиш, юзани тоблаш учун қизитиш ва хоказо), жисмнинг шакл ва геометрик ўлчамлари, харорат режими (тўла қизитиш 1200...1300 °C гача, юзани тоблаш учун-750°C гача) каби кўрсаткичларни акс эттирган техник топшириқ асосида лойихалаштирилади ва танланади.

Топшириқда қизитиш вақти  $\tau$  ёки ускунанинг унумдорлиги  $m_t$  кўрсатилади. Агар булар кўрсатилмаса, вақт  $\tau$  хисобланади.

Ускуналарнинг асосий параметрлари (қуввати, частотаси, ФИК,  $\cos\phi$ ) ишчи органгиндукторнинг иссиқлик ва электр хисоблари асосида аниқланади. Хисоблаш услубиёти махсус адабиётларда келтирилади. Эксплуатация шароитларида ускуналар вазифаси, частотаси ва генераторнинг тебраниш қуввати бўйича танланади.



Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида техникалар ремонтда тоблаш ускуналари, шунингдек сувни, биноларни, парникларни қизитувчи паст частотали индукцион қизитгичлари қўлланилади.

Индукцион қизитиш ускуналарининг асосий параметри - частота. Хар бир иситиш жараёни учун (юзани тоблаш, тўла қизитиш) частотанинг энг яхши технологик ва иқтисодий кўрсаткичларини таъминловчи мақбул диапазони мавжуд.

Юзани тоблаш учун қизитишда қўлланиладиган частотага боғлиқ бўлган индукцион қизитишнинг икки режими мавжуд: чуқур ва юза.

Лойихалаш ва эксплуатация тажрибалари асосида частотани танлаш учун қуйидаги боғлиқликлардан фойдаланилади.

**Деталларнинг юзасини**  $X_k$  чуқурликкача тоблашда оптимал частота, Гц

$$f_{opt} \approx 0,06 / X_k^2$$

рухсат этилган оғишлар

$$0,015/X_k^2 < f < 0,25/X_k^2.$$

Юзани тоблаш учун ўрта частоталардаги чуқур қизитиш маъқул ҳисобланади.

Тўлиқ қизитишда:

диаметри  $D_2$  цилиндр шаклидаги жисм учун

$$3 \cdot 10^6 \rho_2 / (\mu D_2^2) < f < 6 \cdot 10^6 \rho_2 / (\mu D_2^2);$$

қалинлиги  $b$  бўлган текис жисм учун

$$10^6 \rho_2 / (\mu b^2) < f < 6 \cdot 10^6 \rho_2 / \mu b^2),$$

бунда  $\rho$  Ом·м да қабул қилинади.

Тўлиқ қизитиш эса деталнинг геометрик ўлчамлари ва охириги ҳароратга мос равишда 50 Гц дан 200 кГц частоталар қўлланилади.

Юзани тоблаш учун қалинлиги  $X_k$  бўлган металл қавати  $750^{\circ}\text{C}$  гача қизийди. Бу ҳолатда индуктор ажратадиган электромагнит тўлқиндан маҳсулотга тушадиган солиштирма юза қуввати қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$P_s = \gamma c X_k (t_{\text{охир}} - t_1) / (\tau \eta_T),$$

бунда  $\gamma$ -пўлатнинг зичлиги ( $7800 \text{ кг/м}^3$  атрофида);  $c$ -пўлатнинг қизиш вақти мобайнидаги ўртача солиштирма иссиқлик сифими ( $650 \text{ Ж/кг}^{\circ}\text{C}$  миқдорда қабул қилинади);  $t_1$ -заготовканинг бошланғич ҳарорати,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau$ -технологик карта ёки адабиётлар асосида қабул қилинадиган қизитиш вақти;  $\eta_T$ -маҳсулотнинг ички қаватларини қизитиш ва атроф-муҳитга тарқаладиган иссиқлик исрофини ҳисобга оладиган индукторнинг термик ФИК ( $\eta_T = 0,20 \dots 0,60$ ).

Юзани тоблашда қизитиш вақти юқори 100...400 °C/с, атроф-мухитга бўладиган исроф жуда кам, шунинг учун индуктор иссиқлик изоляциясиз тайёрланади. Асосий исроф маҳсулотнинг ичига иссиқлик ўтиши ҳисобига бўлади.

$P_s = (0,4 \dots 0,30) 10^7 \text{ Вт/м}^2$  га тенг.

Тўла қизитишда  $P_s$  нинг қиймати бир даражада кам-  
(0,05-0,2)  $10^7 \text{ Вт/м}^2$ , қизитиш вақти заготовканинг диаметри ва частотага боғлиқ бўлиб, ундан юзлаб секундгача ўзгаради шунинг учун индукторлар иссиқлик изоляцияси (шамот, асбест, иссиқа чидамли бетон ва хоказо) билан қопланади

Тобланадиган юза  $A_2$ ,  $m^2$  орқали маҳсулотга киритиладиган тўла актив қувват:

$$P_2 = P_s A_2 = \gamma c X_k (t_{\text{охир}} - t_1) A_2 / (\tau \eta_T) = P_{\text{фой}} / \eta_T$$

Цилиндр шаклидаги детал учун  $A_2 = \pi D_2 h_2$ .

Индукторга узатиладиган қувват

$$P_{\text{инд}} = P_2 / \eta_{\text{э}} = P_{\text{фой}} / (\eta_T \eta_{\text{э}}) = P_{\text{фой}} / \eta_{\text{инд}},$$

бунда  $\eta_{\text{э}}$ -индукторнинг электр ФИК ( $\eta_{\text{э}} = 0,90 \dots 0,95$ );

$\eta_{\text{инд}} = \eta_T \eta_{\text{э}}$ -индукторнинг тўла ФИК.

Генераторнинг тебраниш қуввати

$$P_{\text{ген}} = P_{\text{фой}} / (\eta_{\text{инд}} \eta_{\text{тр}}).$$

Тармоқдан истеъмол қилинадиган қувват,

$$P_{\text{ист}} = P_{\text{ген}} / \eta_{\text{ген}} = P_{\text{фой}} / (\eta_{\text{инд}} \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{ген}}),$$

Бунда  $\eta_{\text{тр}}$ -юқори частотали

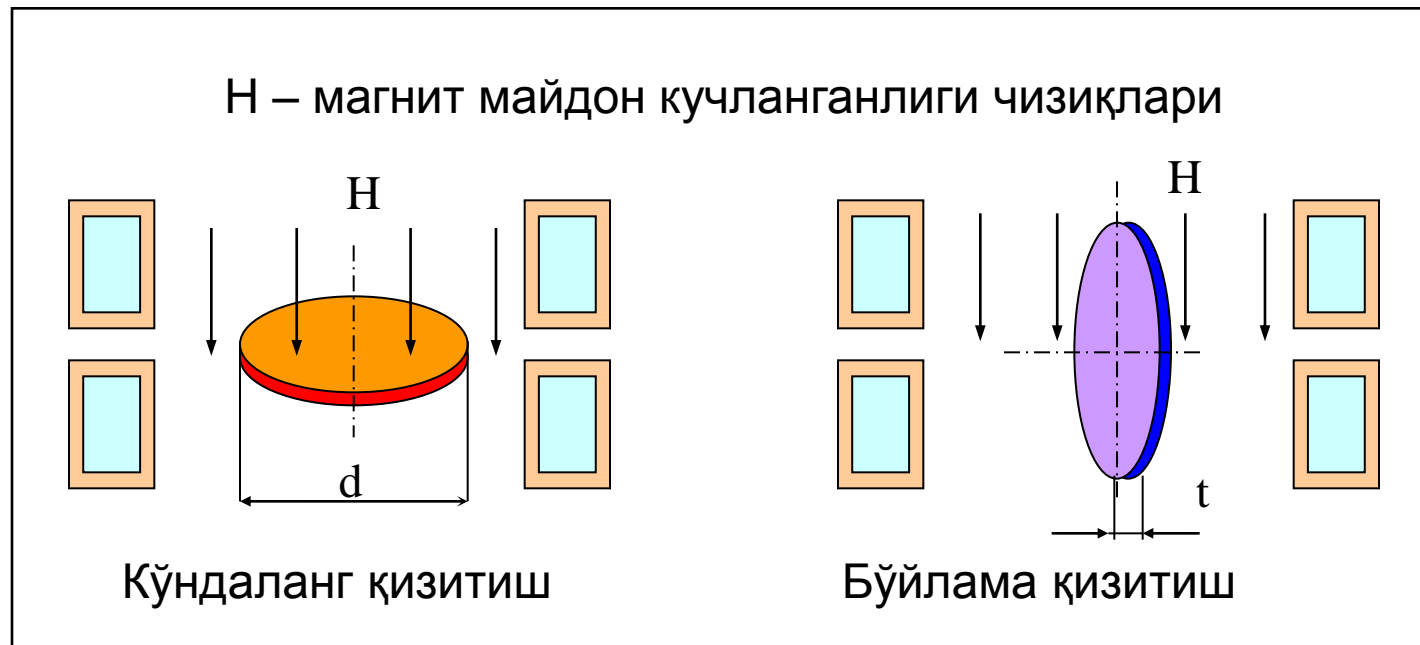
трансформаторларнинг ФИК

( $\eta_{\text{тр}} = 0,75 \dots 0,96$ ).  $\eta_{\text{ген}}$ -генераторнинг ФИК

( $\eta_{\text{ген}} = 0,70 \dots 0,90$ ).

# Юпқа ёки қалин қиздириладиган детал?

Қувватни ютиш магнит майдонда қиздирилган деталнинг жойлашишига ҳам боғлиқ. Максимал ютилиш деталнинг юзаси магнит чизикларга перпендикуляр бўлганда содир бўлади



$d \gg \delta$  – яхши қизийди

$t < \delta$  – ёмон қизийди



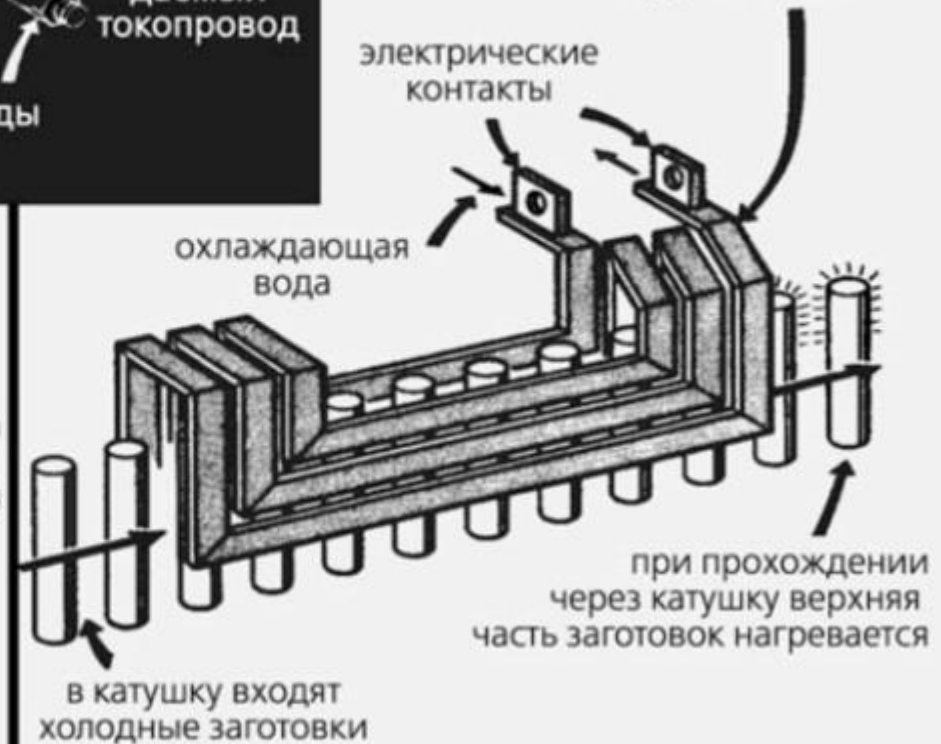
# ИНДУКЦИОН ҚИЗИТИШ

многовитковая соленоидальная катушка



прямоугольная медная трубка со сварными соединениями

электрические контакты



простой одновитковый индуктор

канальная или щелевая катушка

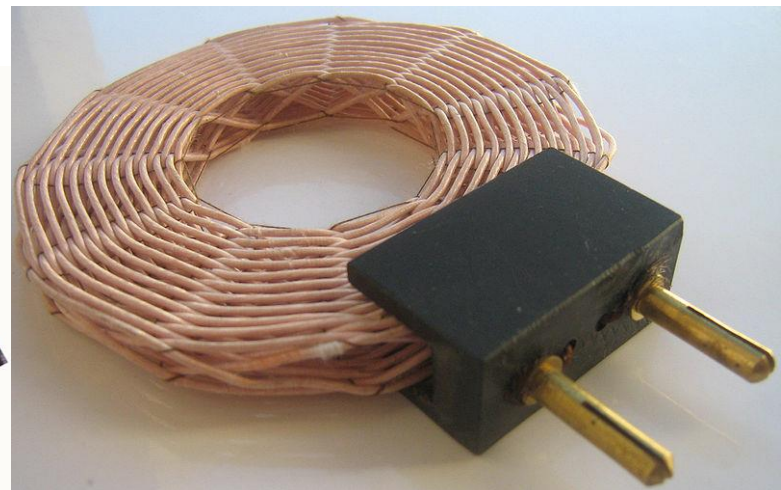
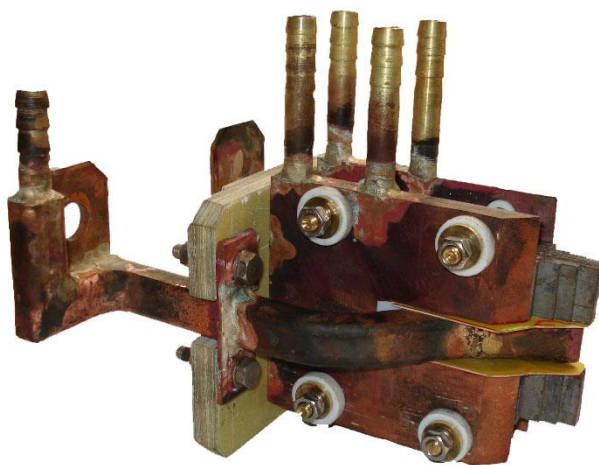
индукторы могут быть штампованными с встроенными средствами охлаждения

# ИНДУКЦИОН ҚИЗИТИШ

elec.ru



Индуктор закалочный



# ИНДУКЦИОН ҚИЗИТИШ



## Синов саволлари ва топшириқлар

1. Индукцион технология қайси физик қонунларига асосланган?
2. Индукцион технологияда энергия киритиш тезлиги қанча?
3. Индукцион қиздириш умумий фойдали иш коэффициентини.
4. Индукцион қизитишнинг асосида қандай физик қонунлар ётади ва қандай частоталардан фойдаланилади, қайси сохаларда қўлланилади?
5.  $20^{\circ}\text{C}$  да 10 маркали пўлатининг солиштирма электр қаршилиги  $\rho^{\text{п}}=16 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, нисбий магнит сингдирувчанлиги  $\mu^{\text{с}}=60$ ; мисники эса  $\mu^{\text{м}}=2 \cdot 10^{-8}$  Ом·м ва  $\mu^{\text{м}}=1$ . Индукцион қизитишда пўлатга ва мисга токнинг кириб бориш чуқурликлари нисбати қандай ва иккала ҳолатда бу солиштирма юза қувватига қандай таъсир этади?
6. Индуктор-маҳсулот системасининг ФИК ва  $\cos\varphi$  ҳаво тирқиши миқдорига қандай боғлиқ?
7. Диаметри 30 мм, баландлиги 360 мм ли пўлат цилиндр юзасини тоблаш учун лампали автогенераторни танланг. Тобланадиган юза қалинлиги 1 мм, тоблаш ҳарорати  $750^{\circ}\text{C}$ , маҳсулотнинг бошлангич ҳарорати  $20^{\circ}\text{C}$ , қизитиш вақти 5с, индукторнинг ФИК=0,62.



## Асосий адабиётлар

1. А. Раджабов., Муратов Х. М. Электротехнология. - Т.: Фан, 2001. 203 б
2. Багаев А.А., Багаев А.И. Куликова Л.В. Электротехнология: учебное пособие. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006 – 320 с.
3. Баранов Л.А., Захаров В.А. Светотехника и электротехнология. – М.: Колос, 2006. – 344 с.
4. Nicholas P. Cheremisinoff *Electrotechnology. industrial and environmental applications*. UK, 2015 year. Noyes Publications in Park River, N.J. 178 p.

## Қўшимча адабиётлар

1. Басов А.М, Быков В.Г, Лаптев А.В, Файн В.Б. Электротехнология. - М.: Агропромиздат. 1985.
2. Болотов А.Ф., Шепель А.Г. Электротехнологические установки. - М.: Высшая школа. 1988.
3. Живописцев Е.Н. Электротехнология и электрическое освещение. М.: Агропромиздат 1990.
4. Карасенко В.А., Заяц Е.М., Баран А.Н., Корко В.С. Электротехнология. М.: Колос. 1992. – 265 с.