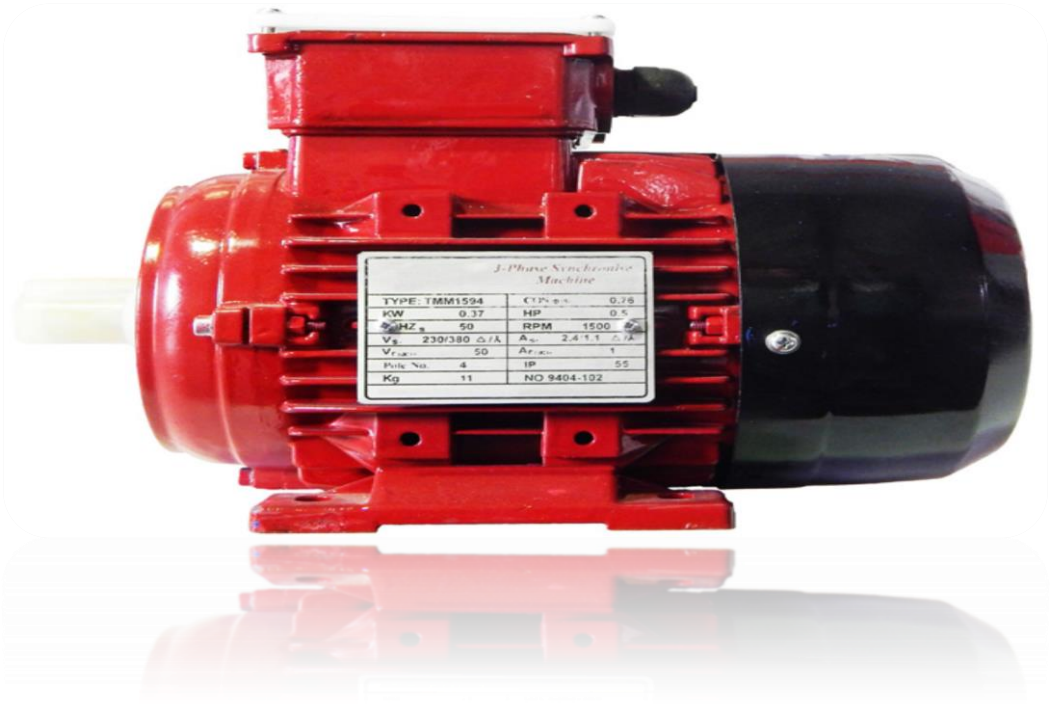
بسمه تعالی

وزارت علوم تحقیقات وفناوری و اطلاعات

آزمایشگاه ماشین های الکتریکی ۲

Electrical Machine Lab



تالیف: مهندس دین محمدی و نیما محرمخانی

تابستان ۱۳۹۶

بنام خدا

خدایا چنان که سرانجام کار توخوشنود باشی ما رستگار

در این جزوه سعی شده است آزمایش های درس آزمایش ماشین های الکتریکی۲ که برای رشته برق در مقطع کاردانی تدوین گردیده است به طور کامل توضیح داده شود جزوه فوق مبتنی بر تجربیات چندین ساله اساتید دردانشگاه ها و مراکز آموزشی فنی حرفه ای می باشد لذا امیدواریم که جزوهحاضر برای دانشجویان برای رسیدن به هدفشان مفید باشد.

Electrical Machine Lab

در پایان لازم است اززحمات اساتید محترم دانشگاه شهید بابایی مهندس دین محمدی و مهندس وارسته نسب و مهندس اویسی فر و کلیه کارکنان دانشگاه شهید بابایی کمال تقدیر وتشکر را به عمل آورم.

فهرست

فصل اول

ترانسفور ماتور ها

۱ . آزمایش بی باری ترانسفورماتور تکفاز وسه فاز

O.C.T:open circuit test

۲ . آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور تکفاز وسه فاز

S.C.T:short circuit test

- اساس سنجش توان اکتیو در سیستم های سه فاز (اتصال آرون)

فصل دوم

ماشین های سنکرون

۳ . آزمایش بی باری ژنراتور سنکرون

۴ . آزمایش اتصال کوتاه ژنراتور سنکرون

۵ . آزمایش بارداری ژنراتور سنکرون

فصل سوم

ماشین های آسنکرون (القایی)

۶ . آزمایش بی باری موتور قفس سنجابی

۷ . آزمایش رتور قفل شده موتور های القایی

۸ . آزمایش بارداری موتورهای القایی

Electrical Machine Lab

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

فصل اول

امروزه اغلب شبکه های قدرت الکتریکی بصورت جریان متناوب طراحی واجراء می شوند زیرا انتقال و توزیع انرژِی الکتریکی تحت جریان متناوب به صرفه تر ودارای راندمان بالاتری می باشد و یکی از مزایای انتقال جریان متناوب امکان استفاده از ترانسفورماتور برای تبدیل ولتاژ است پس به طور کلی ترانسفورماتور ها از دیدگاه کلی به سه نوع می توان تقسیم بندی شوند

از دیدگاه ساختمان :

۱ . نوع هسته ای **core type**

۲ . نوع زرهی **shell type**

از دیدگاه نوع منبع:

۱ . تکفاز

۲ . چند فاز (سه فاز-شش فاز وغیره)

از دیدگاه کاربرد :

۱ . قدرت (انتقال توزیع)

۲ . اندازه گیری

۳ . تطبیق امپدانس

۴ . ایزوله کننده

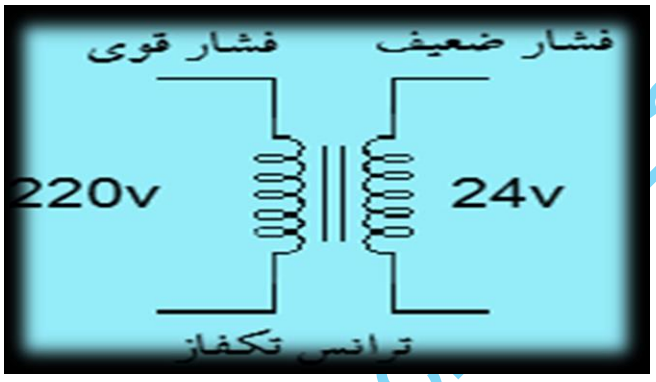
اساس کار ترانسفورماتور ها بر اساس میدان مغناطیسی می باشد که با ایجاد میدان مغناطیسی باعث انتقال توان می شوند که اجزاء اصلی تشکیل دهنده ترانسفورماتور ها هسته و سیم پیچ های می باشد که در این فصل رفتار ترانسفورماتور ها را برسی می کنیم .

Electrical Machine Lab

آزمایش شماره ۱

آزمایش بی باری ترانسفورماتور تکفاز و سه فاز از دیدگاه فشار قوی:

هدف از آزمایش: تعیین ولتاژ بی باری، جریان بی باری، تلفات آهنی و برخی از کمیتهای مدار معادل مانند R_c, X_m می باشد



منظور از آزمایش بی باری ترانسفورماتور یعنی ترانس در ثانویه دارای باری نباشد پس مقدار توان ثانویه p_2 ودر نتیجه مقدار i_2 نیز صفر می باشد پس نیازی به واتمتر و امپر متر در ثانویه نمی باشد فقط در ثانویه نیاز به ولتمتر برای مشاهده ولتاژ خروخی می باشد دانشجویان گرامی به یاد داشته باشید ولتمتر مانند مقاومت خیلی بزگی می باشد که مقدار جریان در ان صفر می باشد که قادر به نشان دادن ولتاژ است وآمپر متر مانند سیم اتصال کوتاه شدهٔ ای است که مقدار ولتاژ در ان صفر می باشد و قادر به نشان دادن جریان عبوری است

مراحل آزمایش :

۱ . جنس تلفات در سمت اولیه توان می باشد که یک واتمتر در اولیه به صورت سری و موازی قرار میدهیم که توان ورودی را نشان میدهد که در ازمایش بی باری چون ثانویه بدون بار می باشد پس مقدار جریان ثانویه صفر می باشد پس توان ثانویه نیز صفر می باشد پس واتمتر در سمت اولیه قرار می گیرد

Electrical Machine Lab

توانی را که واتمتر نشان می دهد همان تلفات اهنی حاصل از تلفات هیسترزیس **Pf** وتلفات فوکو**Ph** می باشد.

Pc = Pf + Ph تلفات هسته

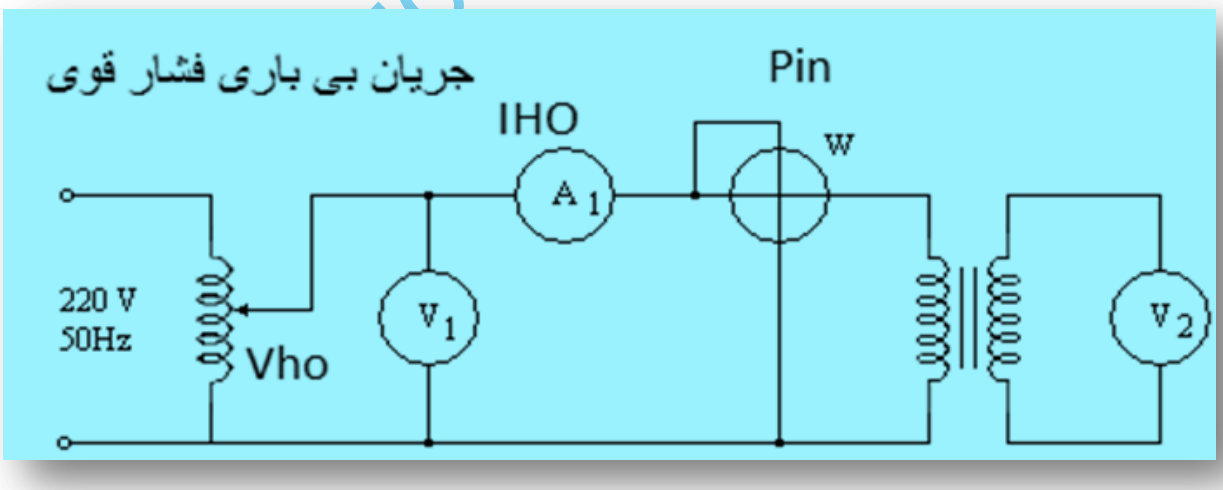
پس مقدار تلفات بی باری با ولتاژ رابطه مستقیم دارد .

۲ . آمپر متری را بعد از واتمتر متر به طور سری در مدار قرار دادهٔ شود جریانی که آمپر مترنشان می دهد نیز جریان بی باری می باشد **Io** که شامل دو جریان می باشد جریان تلفات هسته **Ic** وجریان مغناطیس کنندهٔ **Im** می باشد

Io = Ic + Im جریان بی باری

۳ . ولتمتری را به صورت موازی به دو سر ثانویه اتصال دادهٔ که مقدار ولتاژ خروجی را نشان خواهد داد

۴ . ولت متری را به صورت موازی با دو سر ادامه مدار سمت اولیه اتصال دادهٔ و با اتوترانس (واریاک) موازی کنید



Electrical Machine Lab

دانشجویان عزیز قبل از شروع به ازمایش از رنج وسایل اندازه گیری و قرار گیری پراپ های ان ها در محل صحیح خودشان اطمینان کامل نماید و همچنین اتو ترانس را در مینیم مقدار خود قرار دهید

۵ . اتو ترانس را روشن نماید مقدار ولتاژ را مرحله به مرحله افزایش می دهید تا ولتاژ سمت اولیه ترانسفورماتور مورد ازمایش به مقدار نامی خود برسد

به یاد داشته باشید در هر مرحله چهار کمیت از روی وسایل اندازه گیری یاداشت شود مقدار ولتاژ اولیه **Vin** مقدارجریان اولیه **Iin** و مقدار توان اولیه **Pin** ومقدار ولتاژ ثانویه **Vo** می باشد.

- **جدول آزمایش**

$V_{Ho}\ (v)$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
I_{Ho}	۸	۱۲	۱۵	۱۸	۲۰	۲۳	۲۶	۲۹	۳۶	۴۵	۵۹
P_{in}	-	۰,۱	۰,۴	۰,۸	۱,۳	۱,۹	۲,۵	۳,۲	۴	۵	۵,۹
V_{Lo}	۲,۵۴	۵,۱	۸	۹,۰۲	۱۱,۳۹	۱۳,۶۴	۱۵,۹۴	۱۸,۰۹	۲۰,۴	۲۲,۷	۲۴,۹
ΔP_{cu}	۱,۲۵	۲,۶۱	۳,۹۶	۴,۴۷	۶,۲	۸,۱۹	۱۰,۴۷	۱۳,۹۵	۲۰,۰۸	۳۲,۸	۵۳,۹۵
ΔP_{Fe}	-	۹۷,۳	۴۹۶	۸۹۵	۱۳۹۳	۱۸۹۱	۲۵۸۹	۳۲۸۶	۴۰۷۹,۹۲	۴۹۶۷	۵۸۴۶

$R_2 =$ توسط اهمتر $R_1 =$ توسط اهمتر

۶ . محاسبه Δ_{Pcu} :

$$P_{cut} = \Delta_{Pcu1} + \Delta_{Pcu2}$$

چون ثانویه بدون بار است پس مقدار i_2 صفراست

$$P_{cu2} = R_2 \times i_2^2 \qquad i_2 = 0(A)$$

$$P_{cu2} = 0(w)$$

Electrical Machine Lab

$P_{cu1}=R_1 \times i_1^2$

پس در هر مرحله مقدار تلفات مسی بی باری $P_{cut} = P_{cu1}$ محاسبه می شود

$P_{cu}=R_1 \times i1^2$

۷ . محاسبه Δ_{Pfe} :

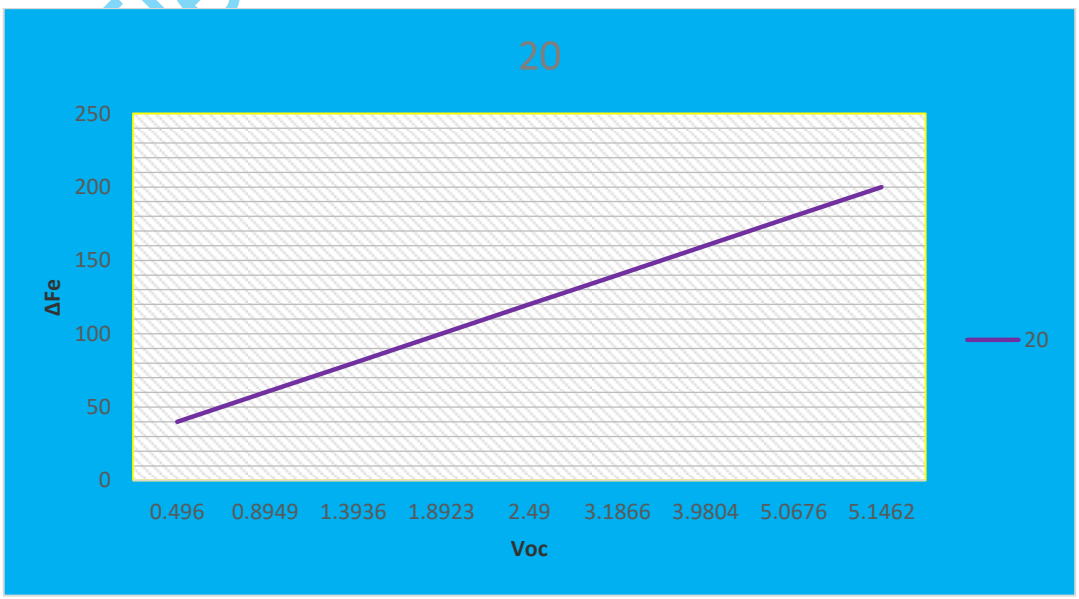
کل توانی که به ترانس میدهیم بعلت باز بودن ثانویه ونبودجریان درسمت ثانویه بصورت گرما درسیم پیچ ها وهسته ی آهنی خودراظاهرمیکند

در اداپتورهای قدیمی که سویچی نبودن وقتی به مصرف کننده وصل نبود .....ترانس کاملا گرم می شد و تلفات دیده میشد ولی در این ولی در این اداپتور جدید که سویچی هستند محصوص نیست .

$\Delta_{Pfe}=P_{in}-\Delta_{Pcu1}$

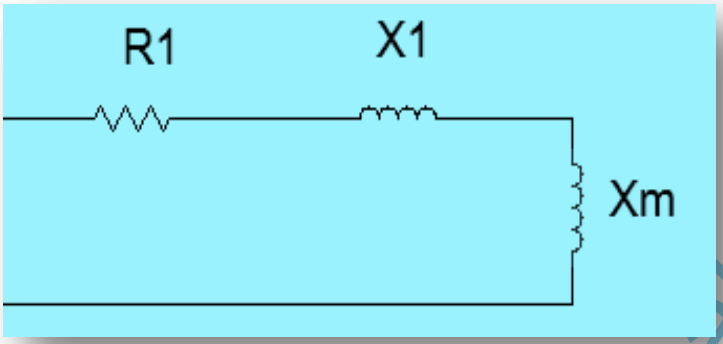
سوالات تشریحی

۱. مشخصه $\Delta P_{Fe} = f(V_{Ho})$ را رسم کنید.



Electrical Machine Lab

۲. مدار معادل بی باری ترانس را از دیدگاه فشار قوی رسم کنید.



۳. چرا تلفات آهنی در محاسبات ثابت در نظر گرفته می شود؟

در هسته اهنی فوران مغناطیسی تقریبا ثابت است و به بار وابسته نیست.بلکه به ولتاژ ورودی وفرکانس بستگی دارد.ازآنجاکه ولتاژورودی مقدارتقریبا ثابتی دارد.لذاتلفات آهنی در محاسبات ثابت درنظرگرفته میشود.

٤. چرا تلفات بی باری همان تلفات آهنی فرض می شود؟

در ثانویه ترانس هیچ مصرفی وجود ندارد و از انجا که جریان اولیه بسیار کم است میتوان از تلفات سیم پیچ اولیه صرف نظر کرد بنابراین مقداری که وات متر در حالت بی باری نشان میدهد مربوط به تلفات اهنی هسته هست

۵. مقاومت معادل تلفات هسته (R_c) را محاسبه کنید.

$P_{cu}=R_1*I_{ho}=16*(59^{\wedge 2})=53.95_{mw}$

ΔPfe=Pin-ΔPcu=5900-53.95=5846mw

Rc=Vho^2/ΔPfe=220^2/5846=8.279kΩ

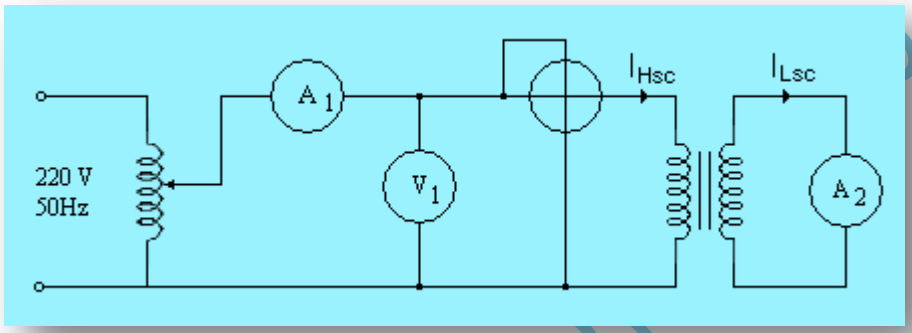
Electrical Machine Lab

آزمایش شماره ۲

آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور تکفاز از دیدگاه فشارقوی

هدف: تعیین ولتاژ اتصال کوتاه، جریان اتصال کوتاه دائم با ولتاژ نامی، تلفات مسی و کمیتهای مدار معادل

- **مدار آزمایش**



مشاهده میکنیم که در این مدار برخلاف مدار شماره ۱ (ازمایش بی باری) جای ولت متر و امپر متر در سمت فشار قوی عوض شده یعنی ولت متر نزدیک سیم پیچ ترانس قرار گرفته است . این بخاطر این است که ما میخواهیم ولتاژ اتصال کوتاه ترانس را ببینیم پس باید نزدیک سیم پیچ ترانس باشد و در مسیر ان چیزی نباشد که اگر اینطور نباشد احتمال خطا خواهد داشت چون مقداری ولتاژ در امپر متر و وات متر افت مکند اگر ولتمتر قبل از اینها قرار گیرد مثل مدار شماره ۱ چون واتمتر و امپر متر به صورت سری هستند و امپدانس داخلی دارند اگر ولتمتر قبل از این ها قرار گیرد احتمال خطا در ولتاژ اتصال کوتاه خواهد بود.

ولتاژاتصال کوتاه : ان ولتاژی است که به ازای آن جریان ثانویه (i_{Isc})با جریان نامی برابر شود.

نکته : هیچ وقت در ولتاژ نامی نمی توان ثانویه را اتصال کوتاه کرد چون در این حالت ترانس حتما خواهد سوخت بخاطر همین حتما بایدمطمئن شویم ورودی صفر است وکم کم به ان ولتاژ دهیم (اتوترانس)

Electrical Machine

تنها ترانسی که میتوان در ولتاژ نامی ثانویه ان را اتصال کوتاه کرد فقط ترانس جوش است البته باید دانست که این ترانس واقعا اتصال کوتاه نیست چون که یک راکتور با ان سری است و همچنین فاصله هوایی بین الکترود وصفحه نیز هست .

ثانویه ترانس معمولی را هیچ وقت نمی توان در ولتاژ نامی اتصال کوتاه کرد حتما خواهد سوخت ترانس ایده ال که اصلا چون اصلا مقاومت اهمی هم ندارد و سریع تر خواهد سوخت.

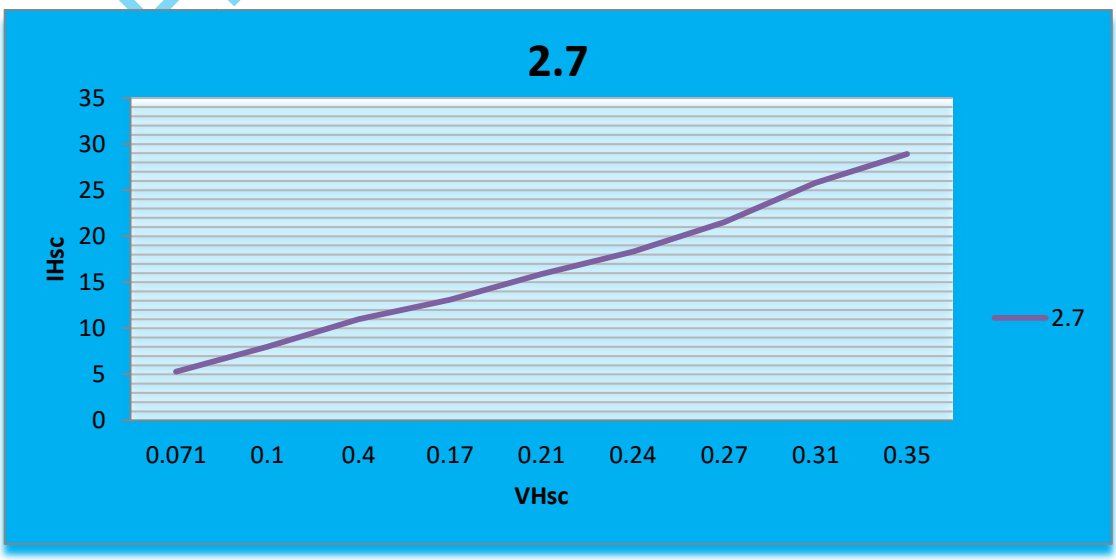
ولتمتر امپدانس داخلی ان ۱۰۰کیلو اهم است اگر دیجیتالی باشد ۳۰۰ کیلو اهم است.

- جدول آزمایش

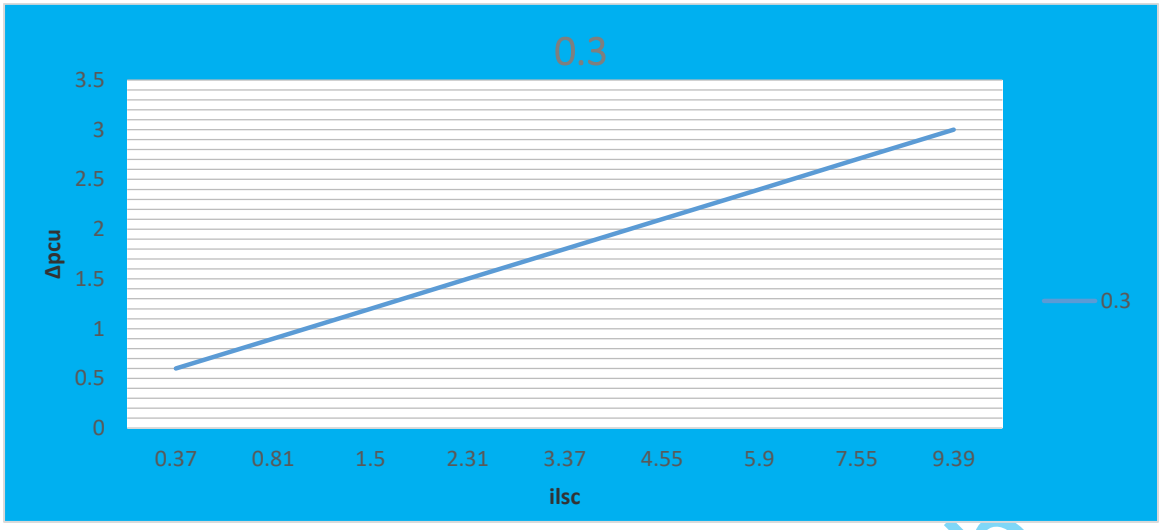
$I_{Lsc}\ (A)$	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3
V_{Hsc}	۲,۷	۵,۳	۸	۱۱	۱۳,۱	۱۵,۹	۱۸,۳	۲۱,۵	۲۵,۸	۲۸,۹
I_{Hsc}	۰,۰۳۶	۰,۰۷۱	۰,۱	۰,۱٤	۰,۱۷	۰,۲۱	۰,۲٤	۰,۲۷	۰,۳۱	۰,۳۵
P_{in}	۰	۰,۲	۰,٦	۱,۳	۱,۹	۲,۸	۳,۸	۵,۱	۷,۱	۸,۹
ΔP_{cu1}	۰,۰۲۵	۰,۰۹	۰,۱۷	۰,۳۵	۰,۵۱	۰,۷۸	۱,۰۳	۱,۳	۱,۷۲	۲,۱۹
ΔP_{cu2}	۰,۰۷	۰,۲۸	۰,٦٤	۱,۱۵	۱,۸	۲,۵۹	۳,۵۲	٤,٦	۵,۸۳	۷,۲
ΔP_{cu}	۰,۰۹	۰,۳۷	۰,۸۱	۱,۵	۲,۳۱	۳,۳۷	٤,۵۵	۵,۹	۷,۵۵	۹,۳۹
ΔP_{Fe}	۰,۰۹	۰,۱۷	۰,۲۱	۰,۲	۰,٤۱	۰,۵۷	۰,۷۵	۰,۸	۰,٤۵	۰,٤۹

سوالات تشریحی :

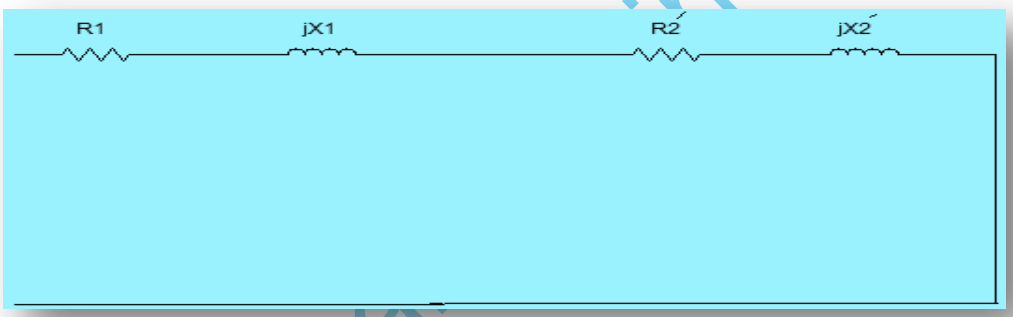
۱. **مشخصه های** $I_{Hsc} = f(V_{Hsc})$ و $\Delta P_{cu} = f(I_{Lsc})$ **را رسم کنید.**



Electrical Machine Lab



۲. مدار معادل اتصال کوتاه ترانس را رسم کنید.

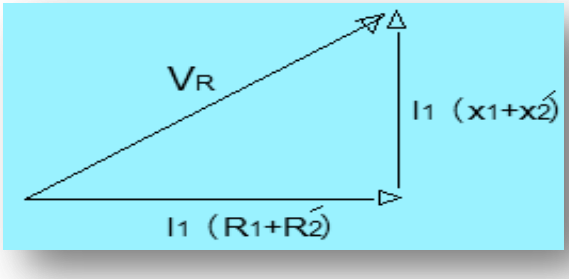


۳. با استفاده از نتایج این آزمایش و آزمایش قبل کمیتهای مدار معادل ترانس مورد آزمایش را تعیین نموده و مدار معادل آن را تشکیل دهید.

٤. جریان اتصال کوتاه دائم با ولتاژ نامی ترانس را محاسبه کنید.

$$I_{kd}=V_n/V_{s.c} * I_{sc}=220/28.9 * 3=22.8(A)$$

۵. دیاگرام برداری ولتاژها وجریان ترانس را در حالت اتصال کوتاه رسم کنید.



Dinmohhamadi & nima moharramkhani

٦. چرا تلفات اتصال کوتاه ترانس همان تلفات مسی فرض می شود؟

با توجه به اینکه ثانویه ترانس اتصال کوتاه است با اعمال ولتاژ کم از سیم پیچها جریان نامی عبور میکند در ای حالت با کوچک بودن ولتاژورودی میتوان از تلفات آهنی صرفنظر کرد پس از انجایی که ازسیم پیچ ها جریان عبور میکند تلفات مسی به اندازه مقدار نامی ان خواهد بود .

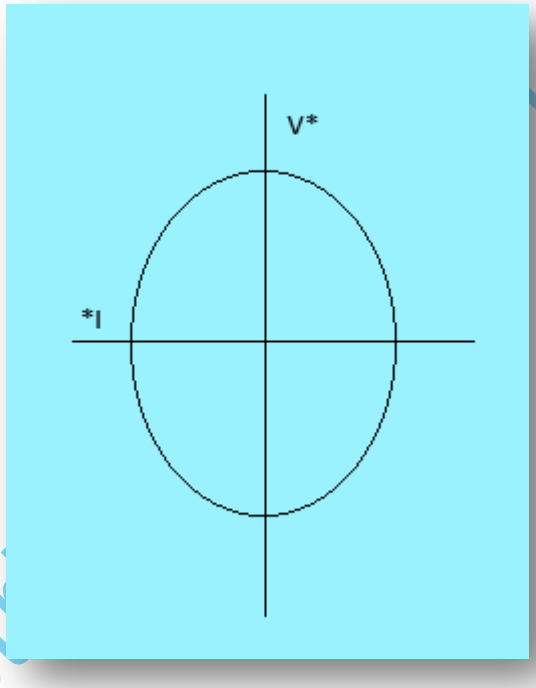
Electrical Machine Lab

اساس سنجش توان اکتیو در سیستم سه فاز سه سیمه (اتصال آرون)

اساس کار واتمتر همانند یک موتور جریان مستقیم است چون موتور جریان مستقیم یک سیم پیچ تحریک و یک سیم آرمیچر دارد. پس واتمتر هم یک سیم پیچ جریان و یک سیم پیچ ولتاژ دارد. میدانیم اگر تحریک قطع باش در موتور جریان مستقیم موتور حرکتی ندارد و همچنین در آرمیچر نیز قطع باشد و بار موتور نیز حرکتی نمیکند. پس واتمتر مثل یک موتور جریان مستقیم است.

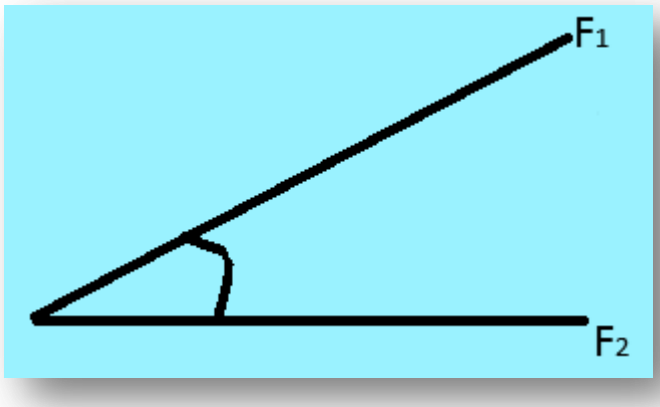
$P=V.I.COS^{\Phi}$

$P=V^{\rightarrow}.I^{\rightarrow}$



Electr Lab

پس اندازه ولتاژ و جریان به زاویه انان بستگی دارد.

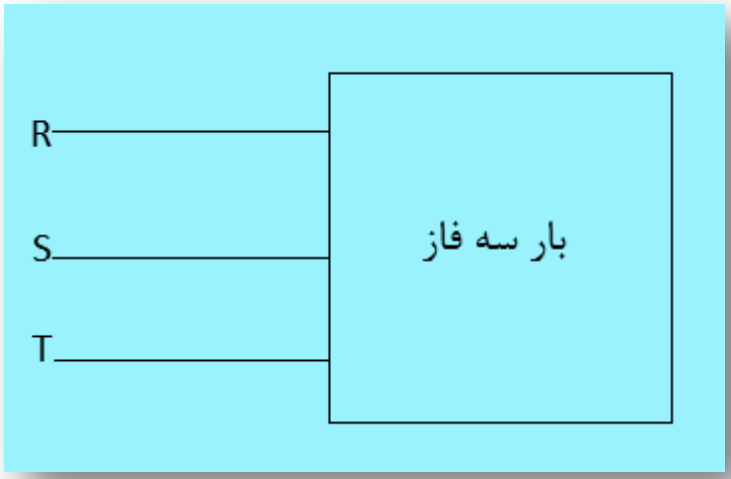


$F^{\rightarrow}=|F_1|^{\rightarrow}.|F_2|^{\rightarrow}COS^{\phi}$

_اگر بار متعادل باشد توانی که

که مصرف $P=3P_1$ کل است.

میشود



اگر بار نامتعادل باشد باید تک تک توان ها را حساب کرده و سپس باهم جمع کنیم.

کل $P_T = P_1+P_2+P_3$

حتما باید به صورت فازی بنویسیم چون اگر $P= V_R^{\rightarrow}.I_R^{\rightarrow}+V_S^{\rightarrow}.I_S^{\rightarrow}+V_T^{\rightarrow}.I_T^{\rightarrow}$

ننویسیم با علامت (→) فلش را نندازیم اندازه حساب $\Sigma I=0 \rightarrow I_R^{\rightarrow}+I_S^{\rightarrow}+I_T^{\rightarrow} = 0$ نمیشود.

حال جریانها را بر حسب یکی با دو جریان دیگری مینویسیم.

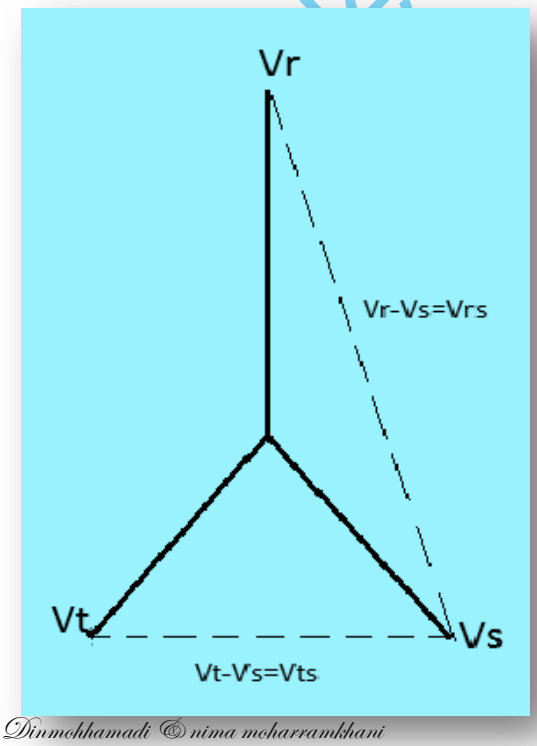
$\Sigma I=0 \rightarrow I_R^{\rightarrow}+I_S^{\rightarrow}+I_T^{\rightarrow} = 0$

$I_S^{\rightarrow}= -I_R^{\rightarrow}- I_T^{\rightarrow}$

$P^{\rightarrow}=V_R^{\rightarrow}.I_R^{\rightarrow}+V_S^{\rightarrow}(-I_R^{\rightarrow}- I_T^{\rightarrow})+V_T^{\rightarrow}.I_T^{\rightarrow}$

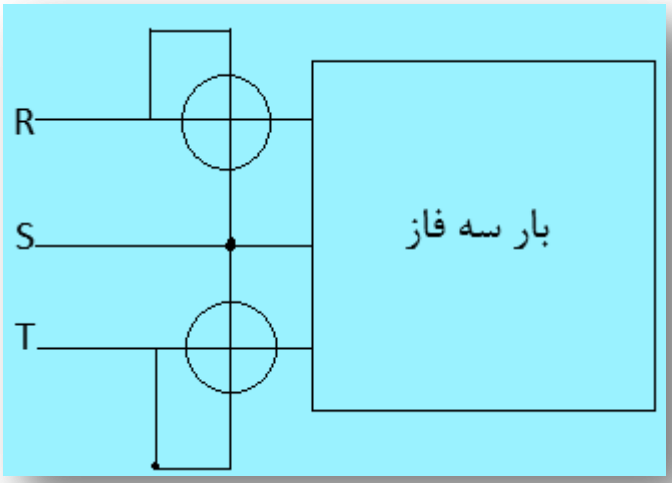
$P^{\rightarrow}=(V_R^{\rightarrow}- V_S^{\rightarrow}).I_R^{\rightarrow}+(V_T^{\rightarrow}- V_S^{\rightarrow}).I_T^{\rightarrow}$

$P^{\rightarrow}=V_{RS}^{\rightarrow}. I_R^{\rightarrow}+V_{TS}^{\rightarrow}. I_T^{\rightarrow}$



Electrical Machine Lab

Dinmohhamadi & nima moharramkhani



پس با توجه به این رابطه ما دوتا واتمتر لازم داریم نه سه تا این اتصال را آقای آرون ارایه کردهٔ که به نام آرون نامگذاری شد.

ما نیازبه سه واتمتر داریم که در آخر ما در رابطه $P= V_R^{\rightarrow}.I_R^{\rightarrow}+V_S^{\rightarrow}.I_S^{\rightarrow}+V_T^{\rightarrow}.I_T^{\rightarrow}$)به دو واتمتر نیازمند شدیم. طبق رابطه ($P^{\rightarrow}=V_{RS}^{\rightarrow}.\ I_R^{\rightarrow}+V_{TS}^{\rightarrow}.\ I_T^{\rightarrow}$

این اتصال آرون (هم برای بارمتعادل هم برای بارنامتعادل است.

پس واتمتر های آزمایشگاهی موجود در این آزمایشگاه به صورت باکس سفید که از اتصال آرون استفاده شدهٔ از این به بعد تا آخر، این اتصال آرون لازم است

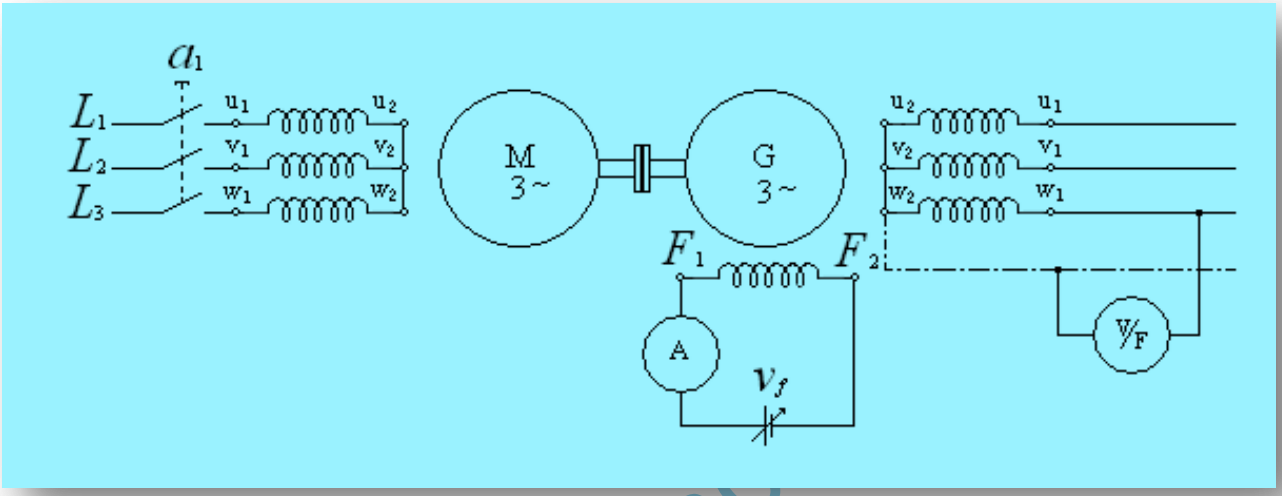
Electrical Machine Lab

آزمایش شماره ۳

آزمایش بی باری ژنراتورسنکرون

هدف: تعیین مشخصه بی باری ژنراتور

- **مدار آزمایش**



نکته۱: این همان ژنراتور جریان مستقیم بود که در آزماشین ۱ داشتیم. فقط فرقی که در اینجااست این است که در خروجی این ژنراتور ۳ فاز جریان متناوب داریم.

مشخصات ژنراتور مورد آزمایش

V_L		I_L		P_2	$\cos\varphi$	n_r	F	E_{rr}	I_f
Δ	Y	Δ	Y	۹۰۰	۰/۸	۱۵۰۰	۵۰	۹/۶	۱/۲
۲۳۱	۴۰۰	۰/۲۲	۰/۱۳						

- **جدول آزمایش مولد کوچک**

I_f (A)		0	0.12	0.24	0.36	0.48	0.6	0.72	0.84	0.96	1.08	1.2
رفت	E_A	۸	۴۱/۴	۸۰/۷	۱۲۱	۱۵۱	۱۹۱	۲۱۵	۲۴۰	۲۵۷	۲۷۳	۲۸۸
برگشت	E_A	۱۲/۴	۴۹	۸۸/۴	۱۲۵	۱۵۵/۵	۱۹۳	۲۱۹	۲۴۵	۲۵۹	۲۷۴	۲۸۸

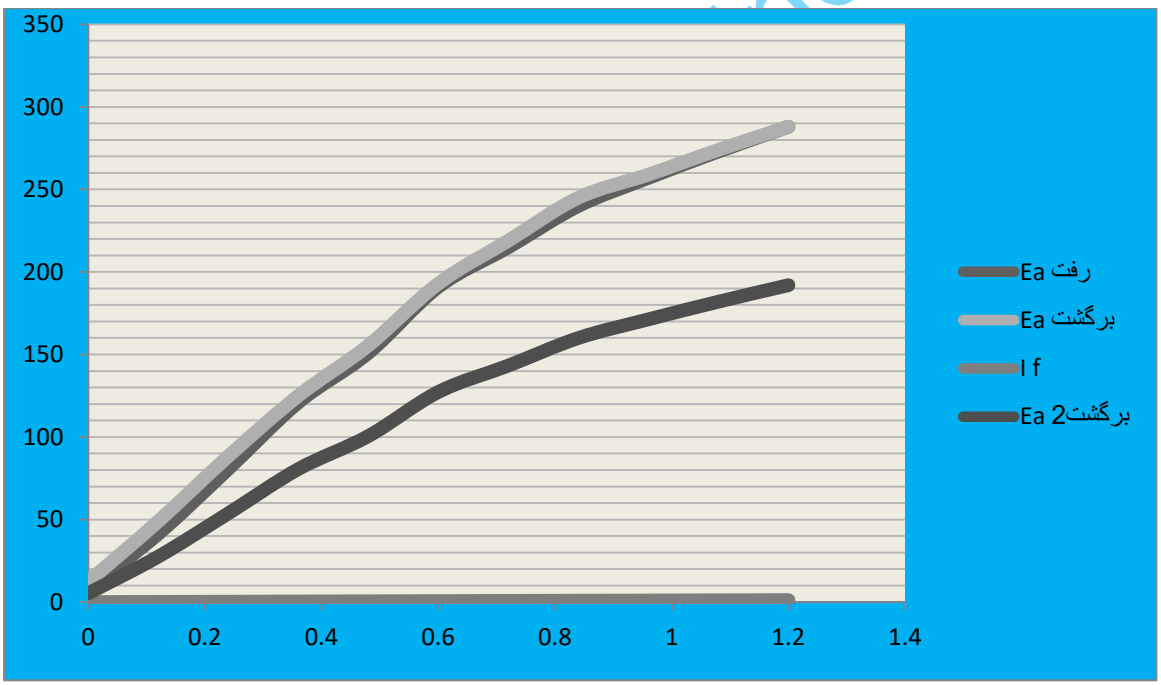
Electrical Mac

- **جدول آزمایش مولد بزرگ**

I_f (A)		0	0.12	0.24	0.36	0.48	0.6	0.72	0.84	0.96	1.08	1.2
رفت	E_A											
برگشت	E_A											

-سوالات تشریحی :

1) مشخصه بی باری ژنراتور را رسم کنید.



2) مشخصه بی باری ژنراتور را در سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه درهمان دستگاه مختصات سوال ۱ رسم کنید.

$$E_A=K.I_F.\omega_S \rightarrow \frac{EA1}{EA2}=\frac{K.IF.\omega S1}{K.IF.\omega S2} \rightarrow \frac{EA1}{EA2}=\frac{\omega S1}{\omega S2}=\frac{nr1}{nr2}$$

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

I_f (A)		0	0.12	0.24	0.36	0.48	0.6	0.72	0.84	0.96	1.08	1.2
رفت	E_A	۵/۳۳	۲۷/۶	۵۳/۸	۸۰/۶	۱۰۰/۶	۱۲۷/۳	۱۴۳/۳	۱۶۰	۱۷۱/۳	۱۸۲	۱۹۲

۳) چگونه میتوان منبع تحریک خارجی را حذف نمود؟

با استفاده از تحریک سرخود بدین صورت که به دلیل وجود پسماند مغناطیسی در هسته نیرو محرکه کمی در سیم پیچ استاتور القا میگردد که توسط یک یکسوساز و رگولاتور میتواند دوباره به تحریک دادهٔ شود.

۴) کاربرد مشخصه بی باری را توضیح دهید.

نشان میدهد که در جریان های مختلف ولتاژ تولید شده توسط ژنراتور چقدر است.

۵) چرا استاتور ژنراتور های سنکرون اغلب به صورت ستاره بسته میشود؟

با اتصال ستاره هارمونیک سوم جریان حذف شده و سیم نول برای مصرف کنندگان تکفاز به وجود می آید . همچنین با اتصال ستاره ولتاژ خطی بیشتری تولید میشود.

۶) چرا باید جریان تحریک صاف و بدون ضربان باشد؟

تا ولتاژ خروجی صاف و بدون هارمونیک باشد.

۷) چرا در هنگام آزمایش باید سرعت ژنراتور ثابت نگه داشته شود؟

باید سرعت ثابت باشد تا ولتاژ القایی ثابت نگه داشته شود. $E_A = K.\phi.\omega_S$ طبق رابطه

۸) مزایای ژنراتور های سنکرون را نسبت به ژنراتورهای جریان مستقیم بیان کنید.

سادگی ساختمان ،نداشتن کموتاسیون ،توان بیشتر در حجم مساوی ،ولتاژ متناوب به سادگی تبدیل میشود.

Electrical Machine Lab

آزمایش شماره ۴

آزمایش اتصال کوتاه ژنراتور سنکرون

هدف: تعیین مشخصه اتصال کوتاه ژنراتور وتعیین کمیت های مدار معادل

نکته ۱: در آزمایش ترانس مشاهده کردیم که خطا زیاد بود چون ماشین کوچک بود و باعث میشد که تلفات از توان ورودی بالاتر میرفت.

دلیل قرار دادن سه آمپر متر چیست؟ برای اینکه دقیق تر ببینیم ولی در عمل ما یک جریان را حساب می کنیم بدین صورت که معادل سه جریان را میگیریم.

جدول آزمایش :

I_{sc} (mA)		13	26	39	52	65	78	91	104	117	130
I_f	0										
Z_s	–										

$$I_{sc} = \frac{I_{sc1} + I_{sc2} + I_{sc3}}{3}$$

هدف اول: **تعیین مشخصه اتصال کوتاه**

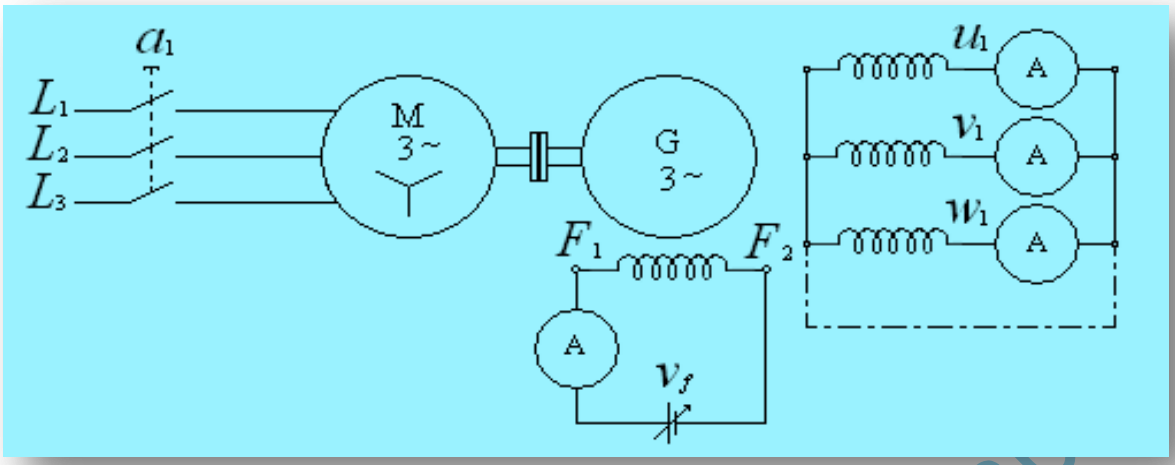
این آزمایش از صفر توسط اکسایتر تاجایی ادامه میدهیم که آمپر سمت ژنراتور جریان اتصال کوتاه

نکته:البته میتوان تا ۵۰% بالاتر ازجریان نامی ادامه داد اما فقط برای زمان محدودی. در

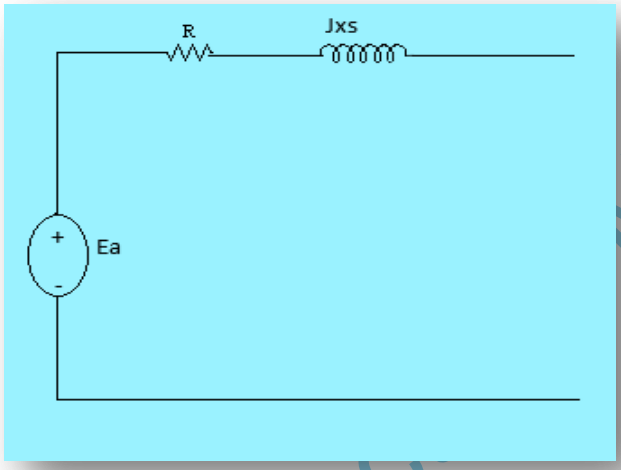
غیر این صورت اگر زمان طولانیتر شود امکان سوخت وجود خواهد داشت.

Electrical Machine Lab

- **مدار آزمایش:**



هدف دوم : تعیین کمیت های مدار معادل



ما برای حالت تکفاز رسم میکنیم و سپس برای فازهای دیگر تجزیه و تحلیل میکنیم.
اگر توان را بخواهیم محاسبه کنیم در عدد ۳ ضرب میکنیم.تلفات هم همینطور

الف) تعیین E_a (یعنی ولتاژ القا شده):

با استفاده از نتایج بی باری بدست می آید.در آن آزمایش به ازای هر جریان تحریک یک نیروی محرکه داشتیم پس نیاز به محاسبه نیست.

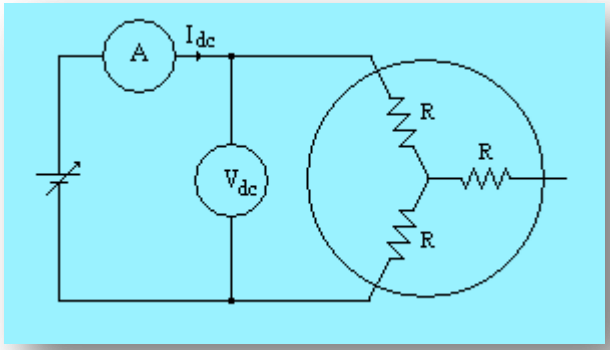
ب) تعیین R_a (مقاومت سیم پیچ):

اگر ماشین ما کوچک باشد یعنی دارای مقاومت بزرگ باشد میتوان از اهم متر برای اندازه گیری مقاومت سیم پیچ ها استفاده نمود.

Electrical Machine Lab

اگر ماشین بزرگ باشد یعنی دارای مقاومت کوچک باشد دیگر اهم متر قابل استفاده نیست و از روش ولت آمپر استفاده می شود.

- هدف تعیین مقاومت اهمی سیم پیچ ماشین های بزرگ است.



سیم پیچ اولیه راستارهٔ میکنیم فقط به دو میدهیم تا جریان حالتDcترمینال ولتاژستارهٔ ۱۳۰ میلی آمپر(نوشته شده روی پلاک) روی سیم پیچ ها بیوفتد.

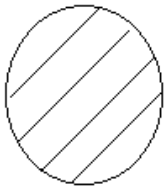
پس اگر ماشین اتصال ستارهٔ نبود باید بازکردهٔ و ستارهٔ بسته تا اهم متر بالاتر نرود.

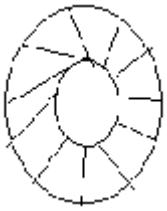
- مقادیر ولتمتر و آمپرمتر درحالی که ماشین در دمای عادی است خوانده میشود.

$$R_{dc} = \frac{V_{dc}}{2 I_{dc}}$$

$$R_{ac} = 1.06\, R_{dc}$$

- مقاومت A_c به خاطراثر پوستی کمی بیشتر از حالت مقاومت





Electrical Machine Lab

ج)برای محاسبه Z_s :

در آزمایش بی باری ژنراتور داشتیم

I_f	0	0.12	0.124
E_a	8	45	85

درآزمایش اتصال کوتاه ژنراتور داشتیم

I_f	0	0.1	0.2
I_{sc}	------	13_{ma}	26_{ma}

در اینجا برای ساده پیدا کردن و یا تعیین E_{a1}. I_{sc} به ازای I_f از میان یابی

یا برون یابی استفاده میشود یعنی از روش معادله خط استفاده میشود.

$$Y-Y_1=\frac{Y2-Y1}{X2-X1}(X-X1)$$

$$E_A-40=\frac{85-40}{0.24-0.12}(0.12-0.12)=70\ (v)$$

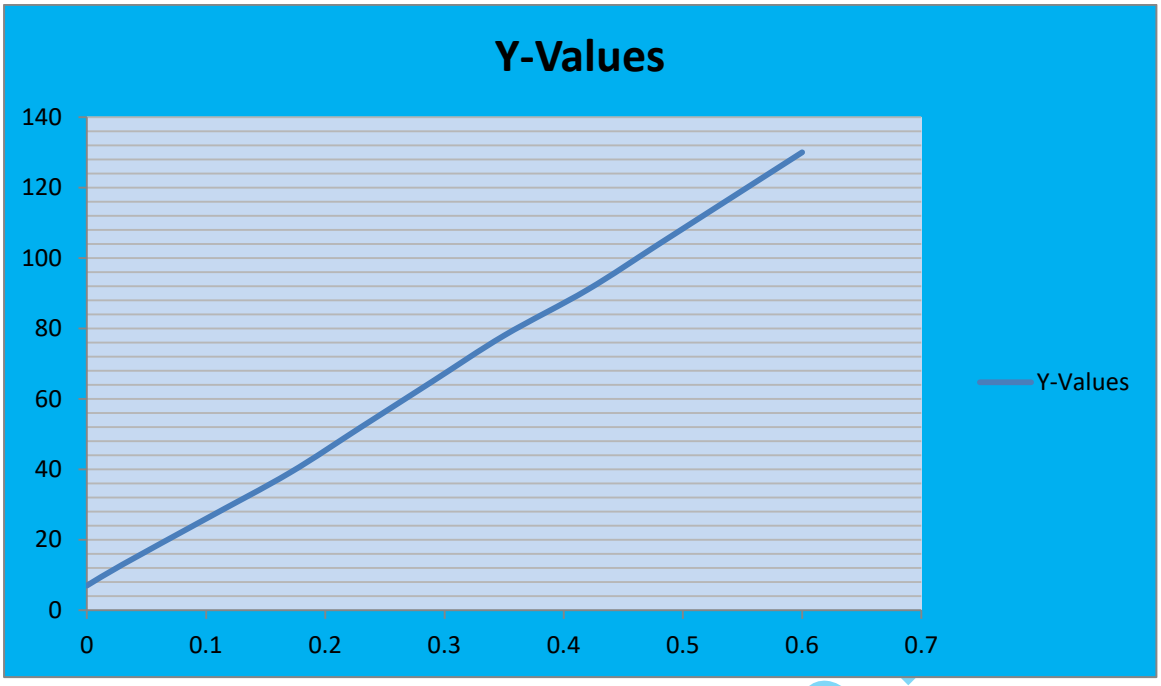
$$Z_s=\frac{Ea}{Isc}=\frac{70}{26(ma)}=2.169(k\Omega)$$

نکته۲: در مورد منحنیاتصال کوتاه ژنراتور چون اشباع نمیشود پس به صورت خطی میشود.

_ سوالات تشریحی :

۱)مشخصه های با توجه به اینکه فقط $i_{sc}=f(i_f)$, $Z_s=f(i_f)$ را در یک دستگاه مختصات رسم کنید.
$Z_s=f(i_f)$در جریان نامی محاسبه میشود منحنی ندارد.

Electrical Machine Lab



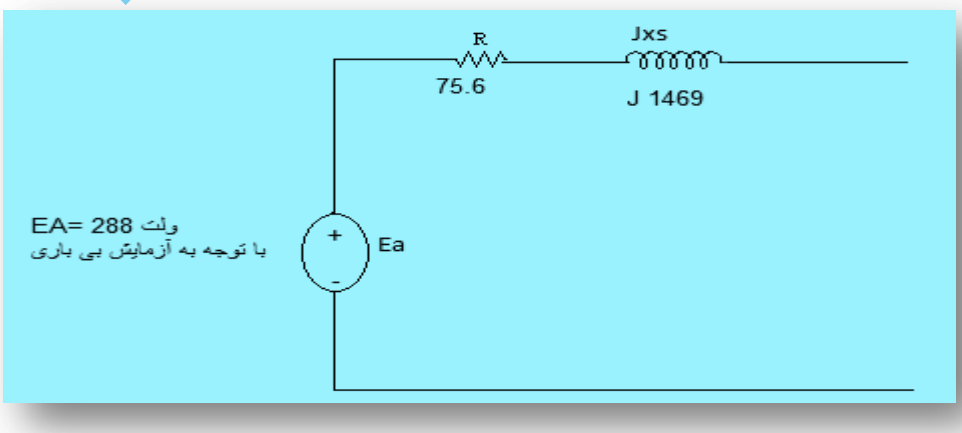
۲) چرا مشخصه اتصال کوتاه خطی است؟

در آزمایش اتصال کوتا چون آرمیچر اتصال کوتاه است لذا به ازا جریان های کوچک تحریک جریان نامی از آرمیچر میگذرد پس ماشین به اشباع نمیرود و مشخصه هموارهٔ خطی است.

۳) جریان اتصال کوتاه دائم ژنراتور را در جریان تحریک نامی محاسبه کنید.

$$I_{kd} = \frac{1.2}{0.6} i_n = 2*130 = 260 \text{ (ma)}$$

۴) با استفاده از مشخصه بی باری و اتصال کوتاه کمیت های مدار معادل ژنراتور را محاسبه نموده و مدار معادل را تشکیل دهید.



Electrical Machine

$$X_s = Z_s = \frac{EA1}{ISC1} = \frac{191}{0.3} = 1469$$

به ازای جریان تحریک ۰/۶۳ آمپر جریان اتصال کوتاه برابر ۰/۱۳ آمپر میشود و جریان تحریک نامی ۱/۲ آمپر است. پس جریان اتصال کوتاه نامی برابر:

$$I_{SCN} = \frac{ifn*isc}{if} = \frac{1.2*0.13}{0.63} = 0.24(a)$$

۵) کاربرد مدار معادل را توضیح دهید.

با استفاده از مدار معادل میتوان رفتار کاری ژنراتور را تجزیه و تحلیل کرده و یک شکل شماتیک از آن بدست آورد.

۶) چرا برای تعیین مقاومت اهمی ماشین ها از آزمایشdc استفاده میشود؟

در ماشین های بزرگ به دلیل ناچیز بودنRa بایستی از روش ولت آمپر (آزمایش dc) استفاده کرد.

۷) اگر آزمایش اتصال کوتاه با سرعت غیر نامی انجام شود چه تفاوتی در نتایج بدست آمده ایجاد میشود؟

با صرف نظر کردن از Ra منحنی تغییری نخواهد کرد

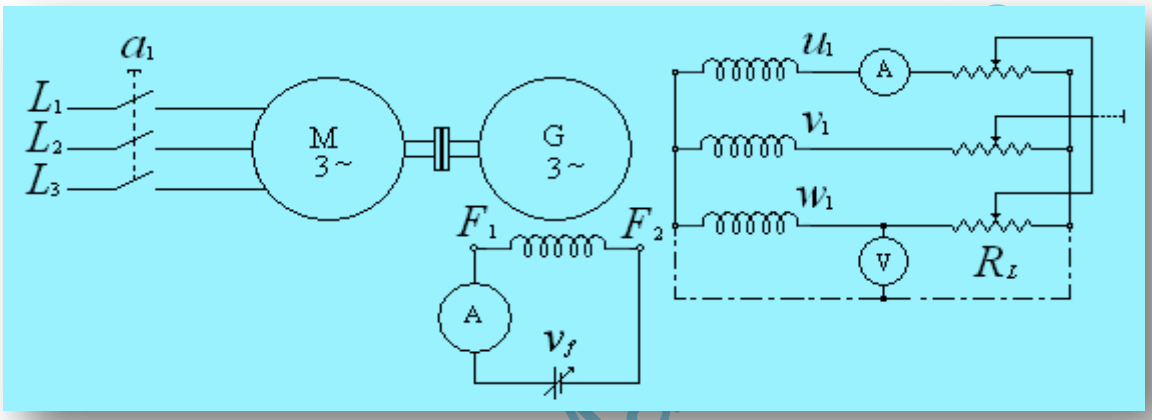
Electrical Machine Lab

آزمایش شماره ۵

آزمایش بارداری ژنراتور سنکرون

هدف: تعیین مشخصه بارداری ژنراتور در حالت های (اهمی خالص _ اهمی سلفی _ اهمی خازنی)

- **مدار آزمایش**



در طول آزمایش $n_r = 1500\ rpm$ و $I_f = 1.2\ A$ ثابت نگه داشته شود و توان خروجی ژنراتور در جریان نامی و در هر سه نوع بار اندازه گیری شود.

- **جدول آزمایش**

اهمی خالص	$I_L\ (mA)$	0	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	V_φ										

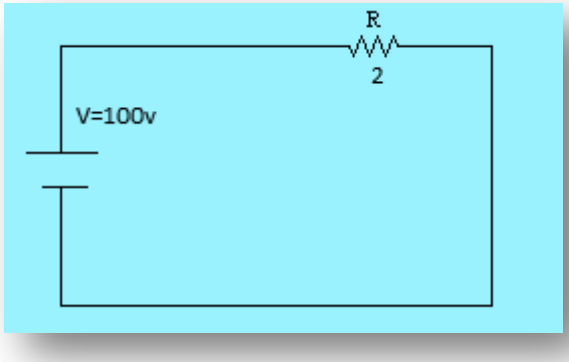
اهمی سلفی	$I_L\ (mA)$	0	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	V_φ										

اهمی خازنی	$I_L\ (mA)$	0	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	V_φ										

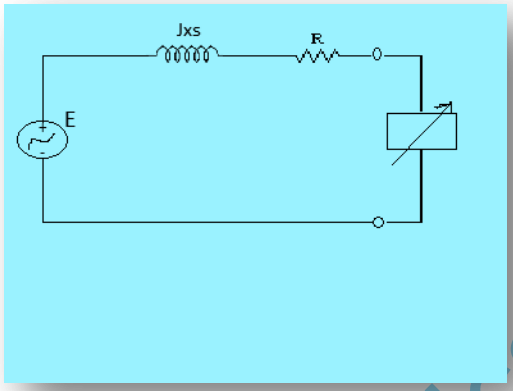
Electrical Ma

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

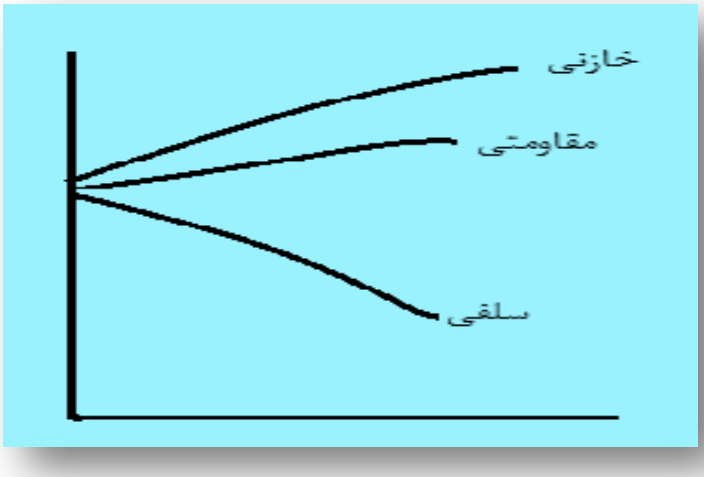
نکته۱: هر منبع ولتاژی امپدانس داخلی دارد و هیچ منبعی نداریم که امپدانس داخلی نداشته باشد (مگر در حالت تیوری ولی در عمل نداریم)



→ → $I = \frac{100}{2} = 50$ اینجا امپدانس داخلی ندارد



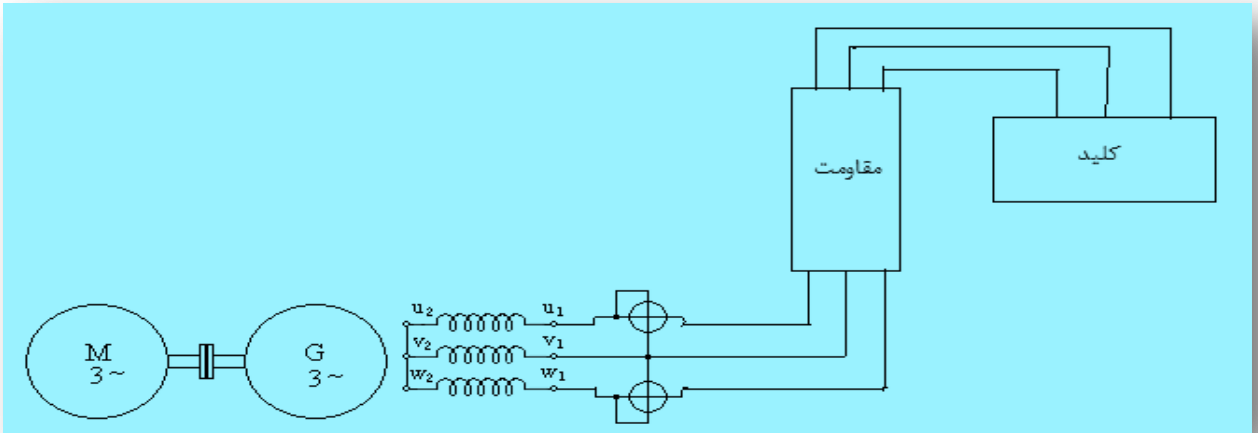
_ پس ژنراتور سنکرون هم حتما امپدانس داخلی دارد.



Electrical Machine Lab

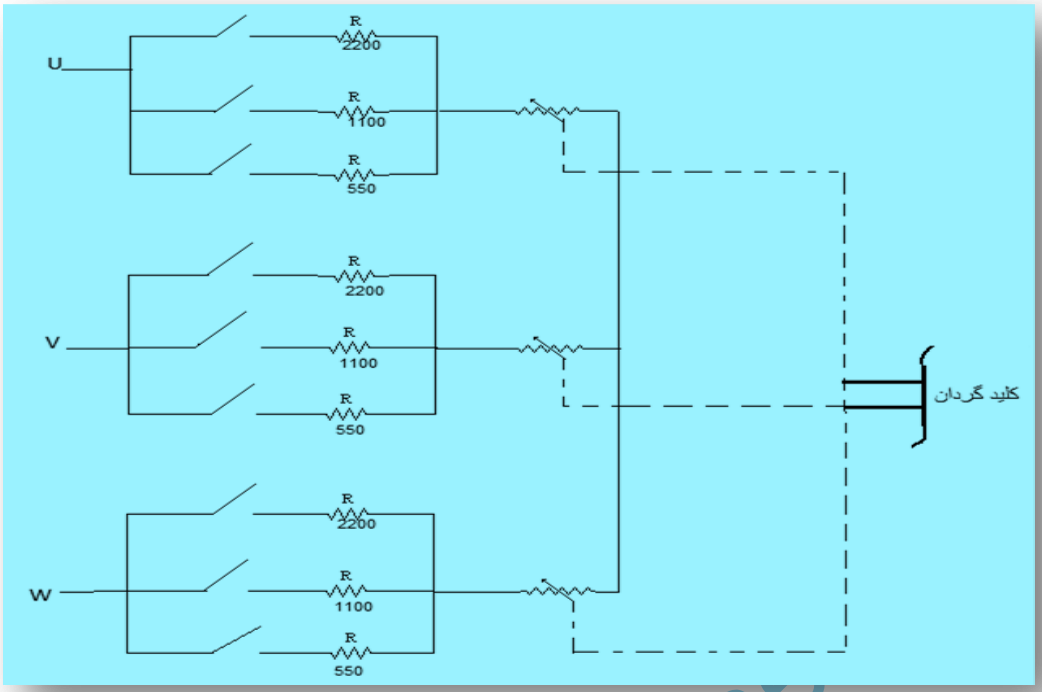
این در آزماشین۱ انجام شده است دراینجا فقط نوع بار آن فرق میکند در حالی که در جریان مستقیم فقط بار اهمی است چون فرکانس نداریم.از این خاصیت یعنی در نمودار فوق به عنوان جبران در خط انتقال استفاده میشود.

نکته ۲: برای اینکه اتصال کوتاه پیش نیاید در این بار کوچک یک مقاومت ثابت گذاشته شده که بار کاملا صفرنشود. چون مقاومت آن دستگاه کم است پس باید مقاومت اظافه شود یعنی سری شود.



***طرح بسته شدن مقاومتها**

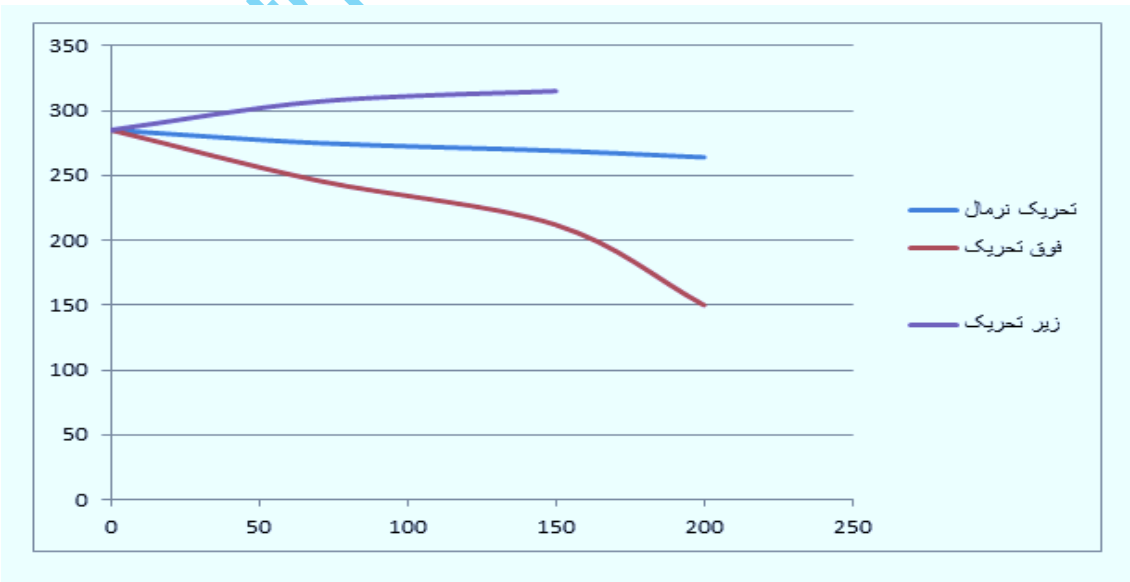
Electrical M



نکته۳: این عمل یک حسن دارد اینکه کاملا منحنی ها را از هم جدا میکند برای اینکه اشتباه صورت نگیرد باید هم مقاومت هم سلف متغیر باشد

_ سوالات تشریحی :

۱)مشخصه بارداری ژنراتور را برای هر سه نوع بار در یک دستگاه مختصات رسم کنید.



طبق شکل در بار اهمی خالص افت ولتاژ حاصل از مقاومت اهمی استاتور و افت ولتاژ حاصل از پراکندگی استاتور از حالت بار اهمی سلفی کمتر است . زیرا در بار اهمی سلفی فوران به

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

شدت تضعیف میشود لذا افت ناشی از پراکندگی افزایش می یابد. در بار خازنی فوران تقویت میشود لذا ولتاژ خروجی با افزایش جریان بار افزایش می یابد

۲) برای ثابت ماندن ولتاژ به ازای تغییر بار چه باید کرد؟

برای ثابت ماندن ولتاژ در بار های مختلف می بایست جریان تحریک را افزایش داد . از سلف و خازن نیز برای این منظور استفاده میشود.

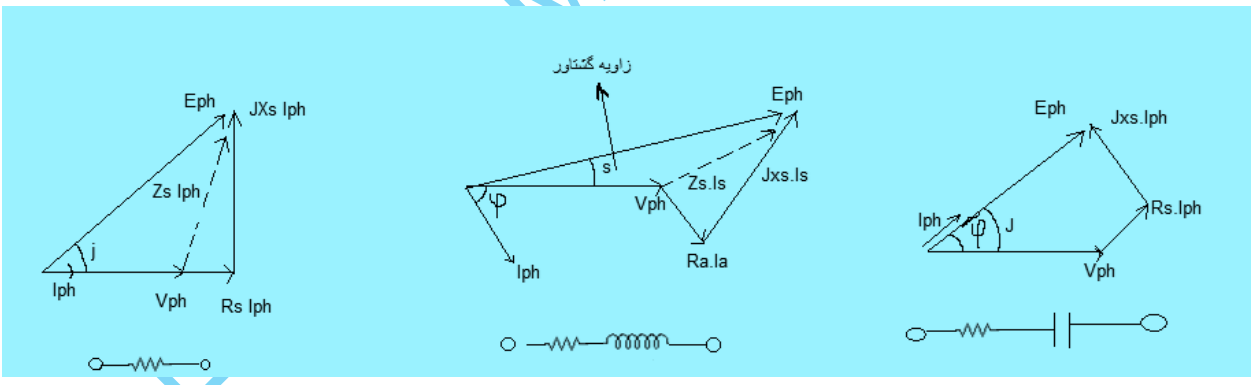
۳) درصد تنظیم ولتاژ را برای نصف بار نامی در هر سه نوع بار تعیین کنید.

اهمی خالص → $V_R\% = \frac{EA-VT}{VT} * 100 = \frac{285-252}{252} * 100 = 13.09\%$

اهمی سلفی → $V_R\% = \frac{285-200}{200} * 100 = 42.5\ \%$

اهمی خازنی → $V_R\% = \frac{273-285}{273} * 100 = -\ 4.39\ \%$

4) دیاگرام برداری ولتاژها و جریان ژنراتور را برای بار نامی در هر سه نوع رسم کنید.



5) برای رسم مشخصه بارداری یک ژنراتور بزرگ (۲۰۰ mw) چه باید کرد؟

برای به دست آوردن مقادیر و رسم مشخصه به صورت تیوری با توجه به نتایج بار واقعی عمل کرد. به این کار شبیه سازی میگویند.

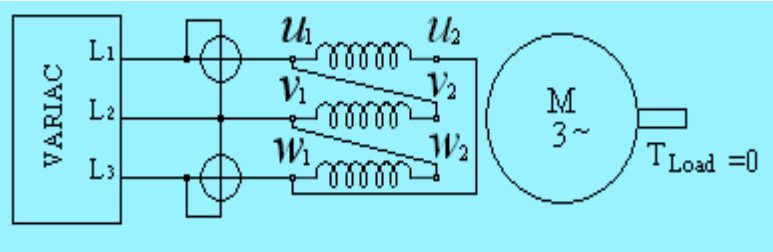
Machine Lab

آزمایش شماره ۶

آزمایش بی باری موتور قفس سنجابی

هدف: تفکیک تلفات آهنی از مکانیکی موتور و تعیین برخی از کمیت های مدار معادل

- **مدار آزمایش**



مقاومت اهمی سیم پیچی استاتور اندازه گیری شود.

- **جدول آزمایش**

V_L (v)	150	175	200	225	250	275	300	325	350	380
I_L										
P_{in}										
n_r										
$\cos\varphi$										
ΔP_{cus}										
$\Delta P_{Fe}+\Delta P_{mec}$										
ΔP_{Fe}										

Electrical Machine Lab

- همیشه تلفات آهنی و مکانیکی باهم هستند که به عنوان تلفات ثابت هستند. که به این تلفات تلفات چرخشی هم میگوییم.قبلا میگفتیم تلفات ثابت چقدر است ولی در اینجا دراین ازمایش میخواهیم این این دو تلفات را از هم جدا کنیم.

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

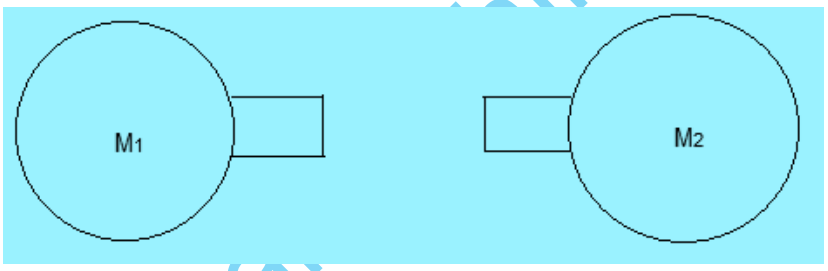
روش های تفکیک:

۱) روش اول استفاده از یک موتورکمکی دیگر (مطلب طولانی ولی فهم آن ساده)

۲) روش ترسیمی (ما از این روش استفاده میکنیم کار خاصی ندارد ولی فهم آن نیاز به کار دارد)

نکته۱: تلفات مکانیکی به سرعت بستگی دارد(جاییکه سرعت نداریم مثل ترانس تلفات آهنی زیاد است) پس چون تلفات مکانیکی به سرعت بستگی دارد بنابراین با ثابت نگه داشتن سرعت میتوان تلفات را ثابت داشت. برای موتور های متوسط و کوچک میتوان گفت که تلفات ثابت است ولی برای موتور های بزرگ نمی توان گفت که تلفات ثابت است.

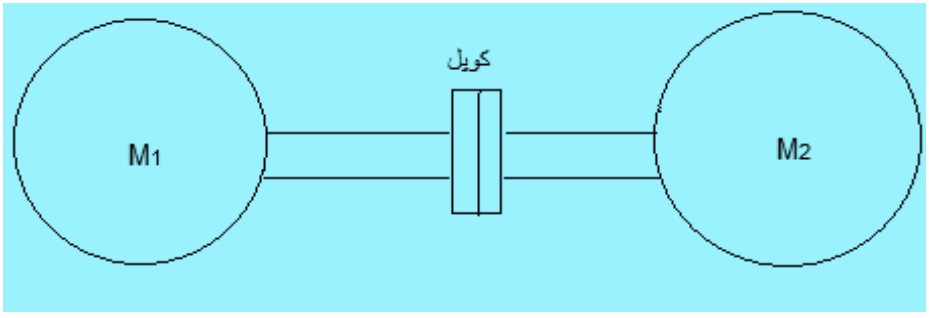
روش اول



مرحله۱: M_2به برق وصل میشود و توان ورودی آن توسط واتمتر اندازه گرفته میشود. موتور

نکته۲: باید سرعت هر دو موتور یکسان باشد اگر قدرت آن ها فرق کند زیاد مهم نیست اگر قدرت های آن ها خیلی زیاد فرق کند احتمالا در بحث کوپلینگ به مشکل بخوریم.

مرحله ۲



Electrical Machine Lab

مجددا بعد ازکوپلکردن دوبارهٔ ی M_2 را به برق میزنیم و دوبارهٔ توان را اندازه میگیریم.

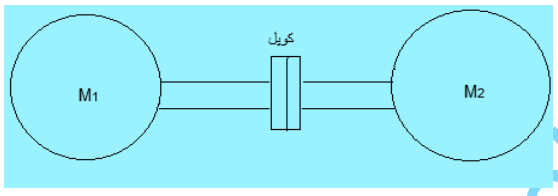
(مثلاP2)

- به نظر شما توان اولی بیشتر است یا دومی؟ البته که توان دومی چون هم بار دارد و کوپل شدهٔ پس جریان یا امپر بیشتری میکشد.

پس در نتیجه: $P_2 - P_1 = \Delta P = \Delta M_1$

مرحله۳: در این مرحله ما باید ببینیم که موتور چه حالتی دارد متناوب است یا مستقیم. اگر مستقیم باشد رفتارمتفاوتی داریم از زمانی که متناوب باشد.

_ فرض کنیم مستقیم باشد همانند مرحله ۲ کوپل میکنیم و در مرحله ۳ تحریک موتور جریان مستقیم را وصل میکنیم. (فقط تحریک نه آرمیچر)



اینجا توان کم میشود چرا؟ به دلیل حالت جذبی

نکته۳: به موتور اول فقط تحریک آن را وصل میکنیم و آرمیچر ان را وصل نمیکنیم ولی به موتوردوم برق میدهیم.

_ اگر متناوب باشد دوبارهٔ کوپل را بازمیکنیم اینبار موتوراصلی یا موتور اول را به برق میدهیم و توان ورودی آن را اندازه میگیریم (P_3مثلا).

_ اینجا توان P_3از P_2 بیشتر است یا نه؟ اگر توان هردو یکسان باشد توان P_2 بیشتر است چون بار دارد.

*البته ما گفتیم توان یا قدرت ملاک نیست در اینجا نیز چون کوپل ندارد پس بی بار است بنابراین توان خروجی نمیدهد.

$$P_3 = P_{in} = \Delta P_{mec} + \Delta P_{fe} + \Delta p_{CU}$$

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

Electrical Machine Lab

توسط واتمتر اندازه گرفته شده $P_{in}\rightarrow$

از آزمایش محاسبه شده $\Delta P_{mec}\rightarrow$

مجهول $\Delta P_{fe}\rightarrow$

$\Delta P_{cu}\rightarrow RI^2$

$\Delta P_{CU} = \Delta P_{cus}+\Delta P_{cur}$

**چون بی بار است(صرف نظر میشود) $\Delta P_{cur}\rightarrow$

$\Delta P_{cu} = \Delta P_{cus}$

$\Delta P_{cus}= 3.R_1.I_1^2$ توسط اهم متر $R_1\rightarrow$

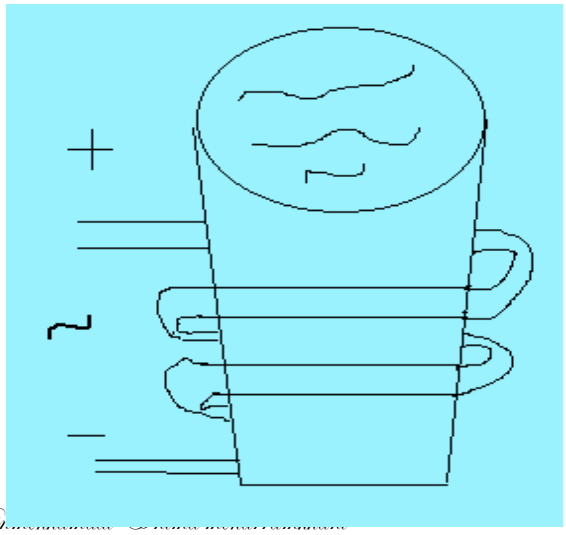
$\Rightarrow \Delta P_{fe} = P_{in} - (P_{mec} + P_{cu})$

_ توضیح درمورد تلفات آهنی :

این تلفات شامل دو نوع تلفات است.

الف) تلفات فوکو ب) تلفات هیسترزیس

تلفات فوکو: میدانیم هرگاه یک قطعه فلزی در داخل یک میدان متغیر قرار گیرد در آن جریان گردابی ایجاد شده اگر این فلز توپر باشد این جریان گردابی بیشتر است حدود {۱۰۰۰۰ (A)} که در کوره های القایی استفاده میشود.

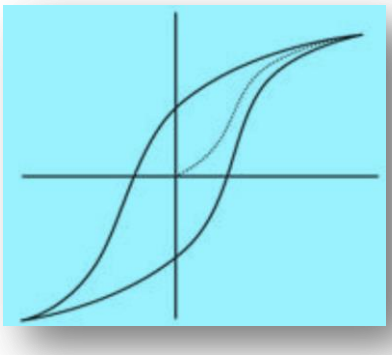


لوله مسی بزرگ که آب هم درداخل آن حرکت میکند تا لوله مسی ذوب نشود →

Electrical Machine Lab

_ هرچقدر فرکانس بالاتر باشد مواد زودتر ذوب میشود که در فرکانس های بالا میتوان ماکروفر را مثال زد.

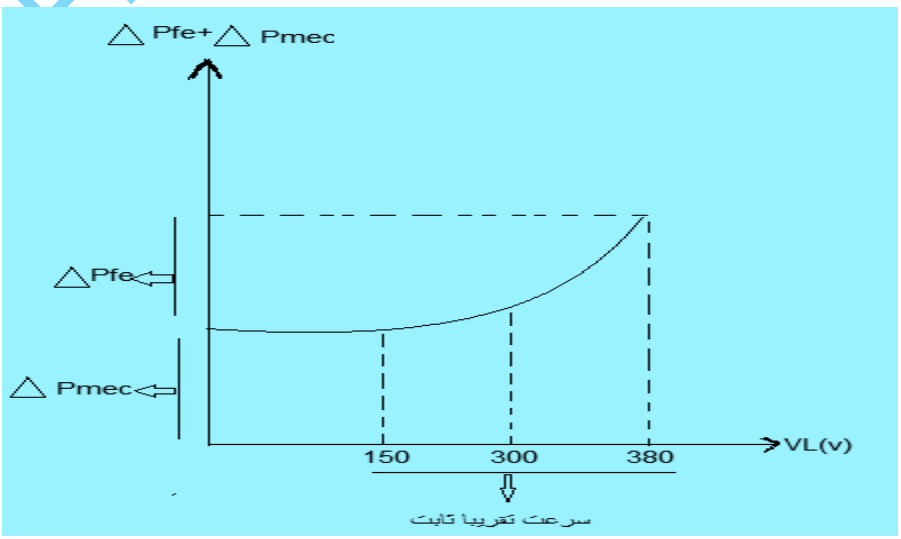
_ **تلفات هیسترزیس:** همان مبحث مربوط به حلقه هیسترزیس



روش دوم (روش ترسیمی):

_ موتورهای القایی جریان متناوب مخصوصا در حالت بی باری وقتی که ولتاژ کمی بر هم دور گرفته و به سرعت نامی میرسد . پس در اینجا سرعت به ولتاژ وابسته نیست کافی است که بر اصطکاک غلبه کند و به سرعت نامی برسد که شاید در ولتاژ پایین این دور ۵۰ یا ۱۰۰ دور باهم فرق کند که خیلی تاثیری ندارد.

نکته٤: بر عکس در موتو جریان مستقیم سرعت به ولتاژ وابسته است $E_A=K.\omega.\phi$



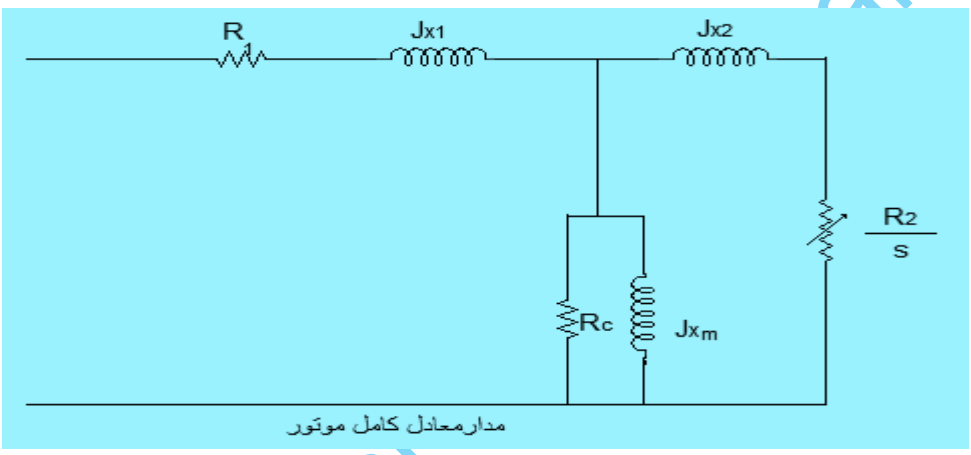
Electrical Machine Lab

- فرض کنیم موتور باهمان سرعت ثابت بچرخد بعد از ۱۰۰ یا ۱۵۰ ولت به بعد ولتاژ را کم کم کاهش میدهیم در اینجا سرعت زیاد نمیشود و منحنی به همان شکل به پایین آمدن ادامه میدهد (نقطه چین) اینجا ون سرعت نداریم پس فقط تلفات مکانیکی داریم.

$\Delta P_{fe} = 0$ $V = 0$

$P_{in} - \Delta P_{cus} = (\Delta P_{fe} + \Delta_{mec})$

هدف دوم: تعیین کمیت های مدار معادل



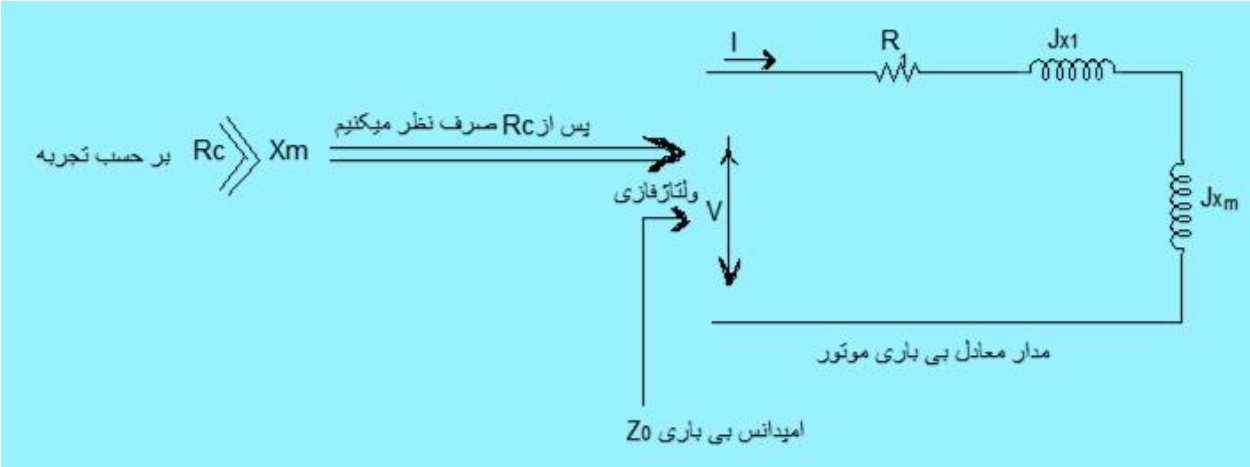
_ اینجا آزمایش بی باری را انجام میدهیم.

_ در این آزمایش سرعت موتور نزدیک به سرعت سنکرون است شاید ۱ یا ۲ دور فرق کند.

بی باری $\text{Lim} \frac{R2}{S} = \infty \rightarrow$ یعنی مدار باز پس روتور جریانی عبور نمیدهد

لغزش $S \rightarrow 0$

Electrical Lab



$Z_0 = \sqrt{R1^2 + (X1 + Xm)^2}$

R_1 : توسط اهممتر (در موتور کوچک) _ اما اگر موتور بزرگ باشد از روش آزمایش DC استفاده میکنیم. {اینجا موتومان کوچک است}

$Z_0 = \frac{V\varphi}{I\varphi}$ از ستون آخر جدول $\rightarrow I\varphi$ ، ولتاژ فازی $\rightarrow V\varphi$

نکته۵ : تنها فرقی که با ترانس دارد این است که در موتو بحث ستاره یا مثلث است پس حواسمان باشد که ولتاژها و جریان ها را در حالت فازی وخطی رعایت کنیم.

_ برای R_C :

$P = V.I \qquad R.I^2 = \frac{V^2}{R}$

$R_C = \frac{V\varphi.V\varphi}{\Delta Pfe + \Delta Pmec}$ → برای یکفاز

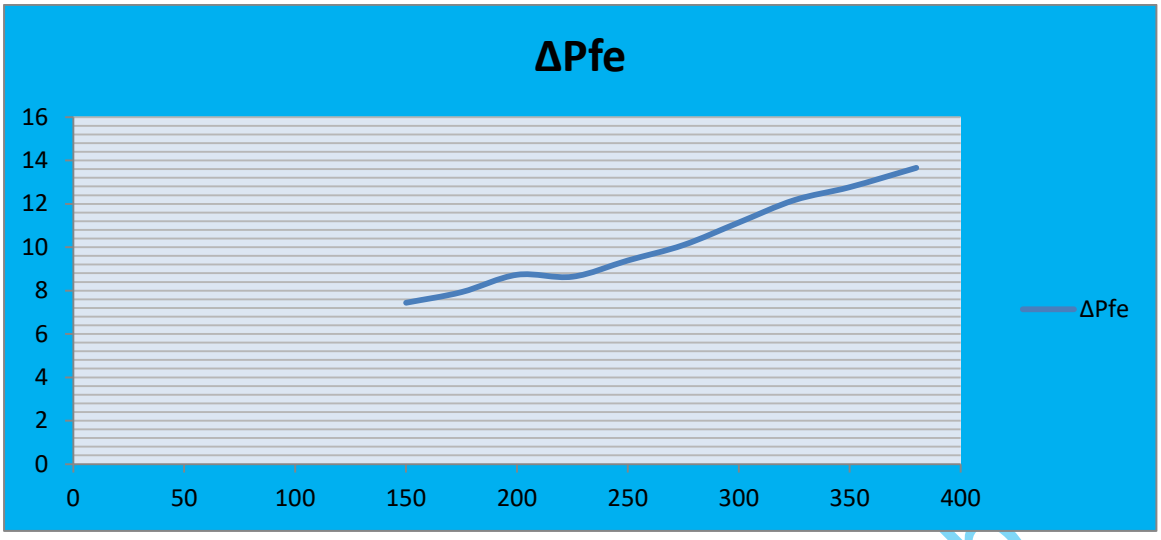
R_c: مقاومت معادل تلفات ثابت (نماینده تلفات ثابت)

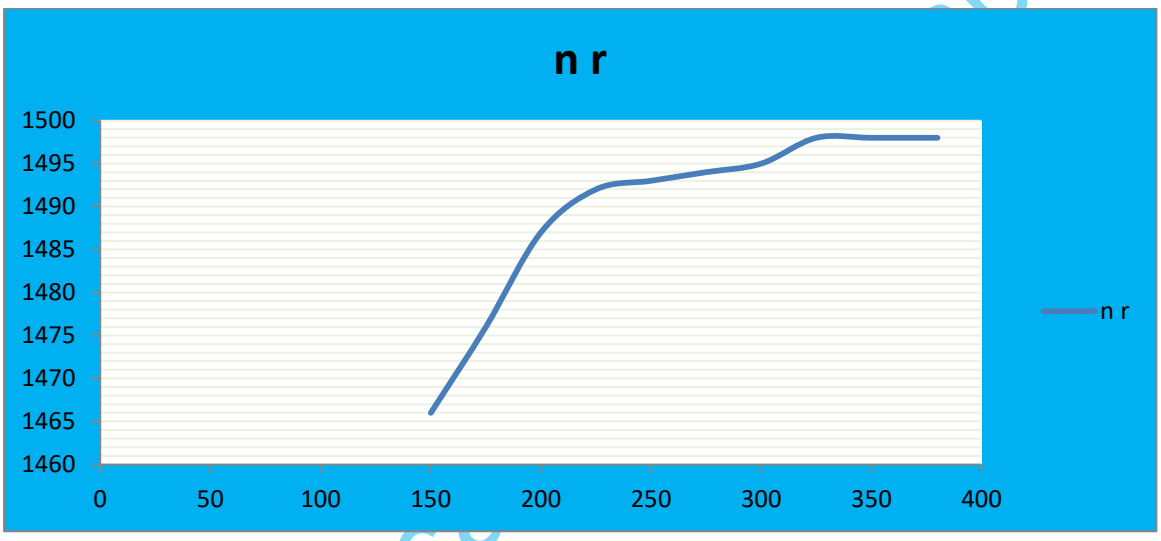
$R_c = \frac{3v\varphi.v\varphi}{\Delta Pfe + \Delta Pmec}$ → برای سه فاز

سوالات تشریحی :

۱) مشخصه های $n_r = f(v_l)$, $\Delta p_{fe} + \Delta p_{mec} = f(v_l)$ را رسم کنید.

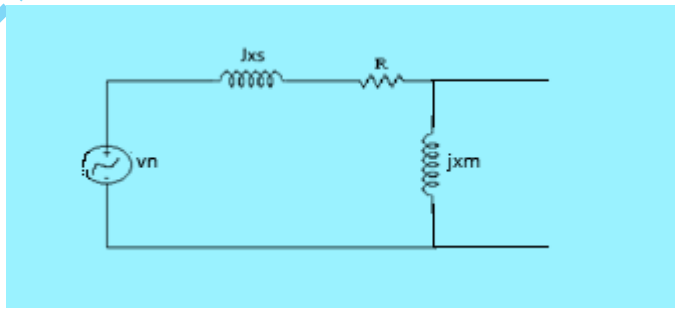
Electrical Machine Lab





۲) با استفاده از مشخصه سوال ۱ تلفات آهنی و مکانیکی را از هم تفکیک کنید

۳) مدار معادل بی باری موتور القایی را رسم کنید.



۴) چرا در موتورهای القایی تلفات مکانیکی تقریبا ثابت فرض میشود؟

همانطور که میدانیم تلفات مکانیکی وابسته به سرعت است و با توجه به اینکه سرعت تقریبا ثابت است تلفات ثابت فرض میشود.

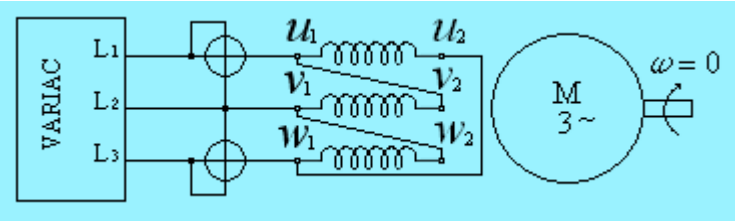
Dinmohhamadi & nima moharramkhani

آزمایش شماره ۷

آزمایش رتور قفل شده در موتور القایی

هدف: تعیین جریان راه اندازی موتور و تعیین کمیت های دیگر مدار معادل موتور

- **مدار آزمایش**



در هنگام شروع آزمایش ولتاژ اتو ترانس روی صفر تنظیم شود و در هنگام آزمایش روتور به صورت ساکن نگه داشته شود.

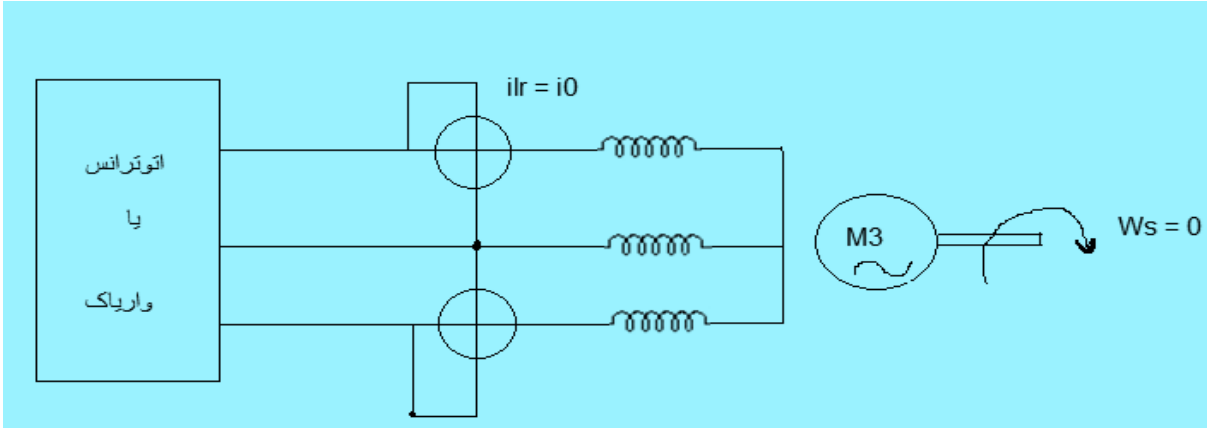
- **جدول آزمایش**

$I_{LLR}(A)$	موتور بزرگی	۰/۱ ۲	۰/۲ ۴	۰/۳ ۶	۰/۴ ۸	۰/۶	۰/۷ ۲	۰/۸ ۴	۰/۹ ۶	۱/۰ ۸	۱/۲	۱/۲ ۲
	موتور کوچکی	۰/۰ ۳۵	۰/۰ ۷۰	۰/۱ ۰۵	۰/۱ ۴۰	۰/۱ ۷۵	۰/۲ ۱۰	۰/۲ ۴۵	۰/۲ ۸۰	۰/۳ ۱۵	۰/۳ ۵۰	۰/۳ ۷۰
V_{LLR}												
P_{in}												
ΔP_{cus}												
ΔP_{cur}												

می دانیم که هم برای ترانس ،آزمایش بی باری و اتصال کوتاه داشتیم و هم برای ژنراتور آزمایش بی باری و اتصال کوتاه داشتیم. و در این جا برای موتور هم آزمایش بی باری و اتصال کوتاه داریم ولی با این تفاوت که اصطلاح اتصال کوتاه برای موتور اصطلاح مناسبی نیست به خاطر اینکه خروجی موتور الکتریکی نمیباشد بلکه مکانیکی میباشد پس اتصال کوتاه برای موتور معنی ندارد. اما اگر روتور حرکت نکند یا روتور آن را نگه داریم با دست و یا هر وسیله دیگر در اصطلاح همان ترانس یا ژنراتور اتصال کوتاه شده.

پس به هر دلیل روتور موتور را بگذاریم بچرخد مثل ترانس همان اتصال کوتاه شده.

Electrical Machine Lab



توجه: اگر با دست شفت موتور را نگهداریم (در موتور های کوچک) یا با هر وسیله دیگر شفت موتو را قبل از راه اندازی نگهداریم (در موتورهای بزرگ) دیگر نمیتوان به موتور ولتاژ نامی داد یا راه اندازی کرد چون احتمال سوختن است. جهت دیدن

رفتار ماشین توسط یک واریاک یا همان اتوترانس تک فاز (برای موتور های تک فاز) سه فاز (برای موتور های سه فاز) ولتاژ راکم کم زیاد میکنیم تا جایی زیاد میکنیم که هنگاهم آزمایش جریان به مقدار جریان نامی موتور برسد به محض رسیدن به جریان نامی آزمایش را متوقف میکنیم.

توجه: قبل از آزمایش باید موتور سه فاز را بدون بار با ولتاژ نامی راه اندازی کنیم تا مطمن شویم که موتور ۲ فاز نباشد بعد از اینکه اطمینان حاصل کردیم موتور را خاموش ،سپس ولتاژ را توسط واریاک به صفر رساندهٔ و طبق گفته بالا آزمایش میکنیم.

_ میدانیم گشتاور متناسب با مجذور ولتاژ است $T \propto V^2$ پس اگر ولتاژ کم باشد گشتاور خیلی کمتر است مثلا اگرولتاژ نصف باشد گشتاور $\frac{1}{4}$ خواهد بود.

هدف اول:

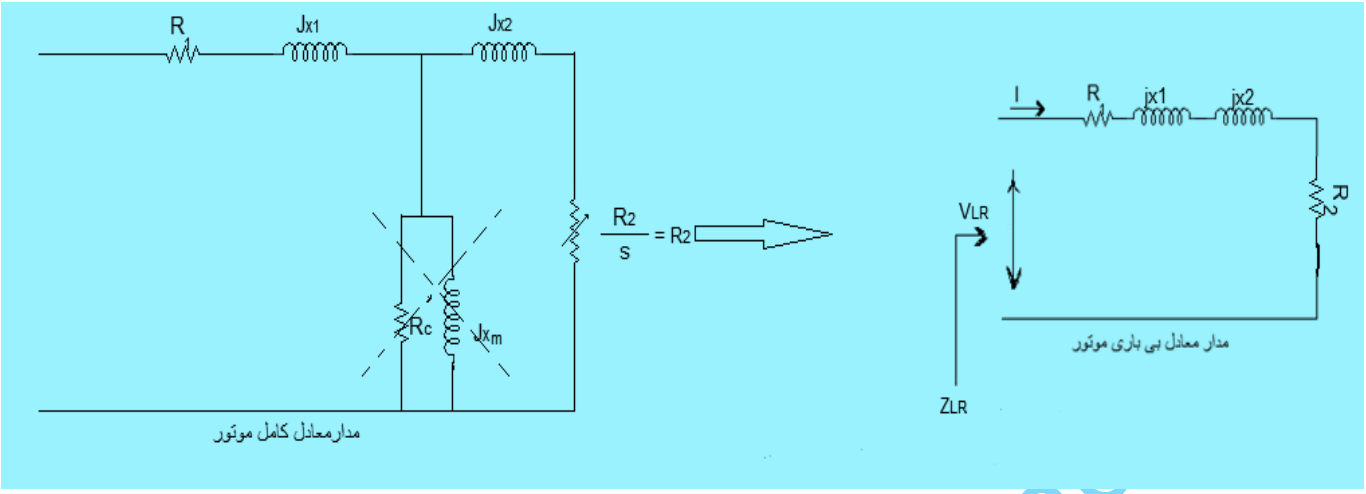
$V_{LR} \rightarrow \quad I_n$

$V_n \rightarrow \quad I_{start}$

$\rightarrow\rightarrow\rightarrow$ راه اندازی $I_{start} = \frac{Vn}{Vlr} . I_n$

Electrical Machine Lab

هدف دوم (هدف اصلی):



در حالت رتور قفل شده S = ۱ → $\lim_{S=1}\left(\frac{R2}{S}\right)^2 = R_2$

$|R_2+J_{X2}| \ll X_m \ll R_c$

پس از شاخه موازی صرف نظر میکنیم (دقیقا همان چیزی که در ترانس گفته شد)

$$Z_{LR} = \sqrt{(R1+R2)^2+(X1+X2)^2}$$

مقدار R1 با اهم متر اندازه گرفته میشود و بقیه مقادیر زیر رادیکال مجهول هستند.

$$Z_{LR} = \frac{V\phi lr}{I\phi lr}$$

حتما فازی→ $V_{\phi lr}$

ستون آخر جدول→ $I_{\phi lr}$

$$(R1+R2) = Z_{LR}\,.\,COS\phi_{LR} \rightarrow \cos\phi_{LR} = \frac{Pin}{\sqrt{3}\,.Vllr\,.Illr}$$

با کسینوس فی متر دقیق اندازه میگیرند→ $\cos\phi_{LR}$

توسط وات متر اندازه گیری میشود→ P_{in}

$$(x1+x2) = Z_{LR}\,.\,\sin\phi_{LR} \rightarrow \sin\phi_{LR} \rightarrow$$ توسط ماشین حساب

$$R_2 = (R_1+R_2) - R_1$$

Electrical Machine Lab

برای X_1 وX_2 قبلا گفتیم:

به طور تجربی بر اساس کلاس های رتور صورت میگیرد.X_2 وX_1تفکیک می باشد.

۵۰% برای هر کدام .$X_1=X_2$باشد ، A _ اگر کلاس رتور

$X_2=60\%$ ، $X_1=40\%$ باشد ، B_ اگر کلاس رتور

$X_2=70\%$ ، $X_1=30\%$باشد ، C _ اگرکلاس رتور

در آزمایش بی باری محاسبه شدR_C :

X_mحالا محاسبه :

$$Z_o=\sqrt{R1^2+(X1+Xm)^2}$$

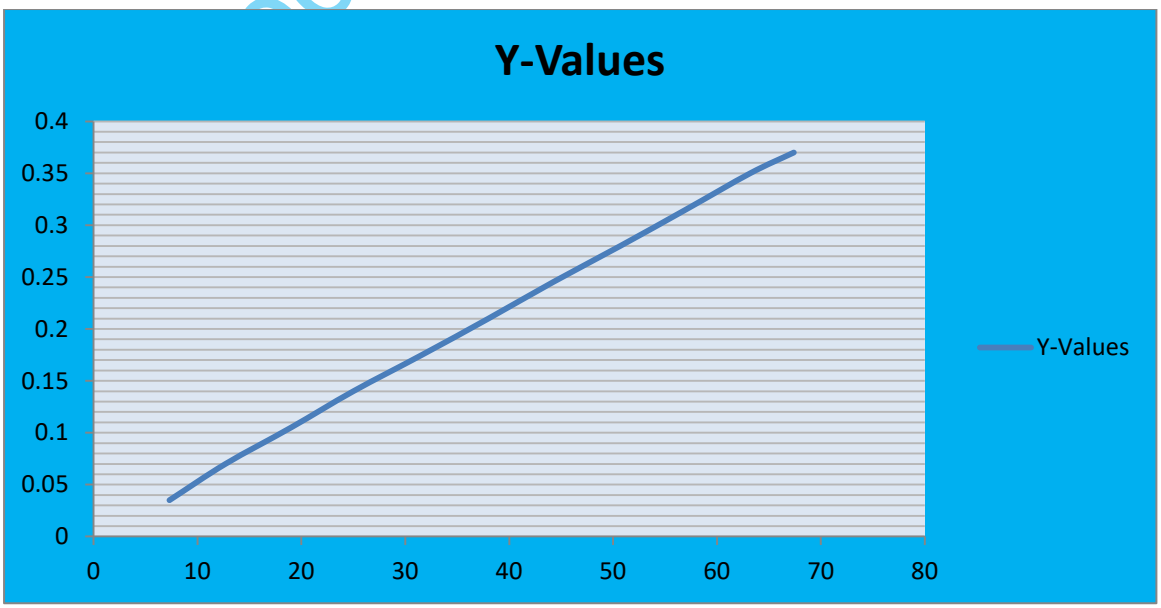
$$Z_o=\frac{V\phi o}{I\phi o}$$

$$(X_1+X_m)=\sqrt{Zo^2-R1^2}$$

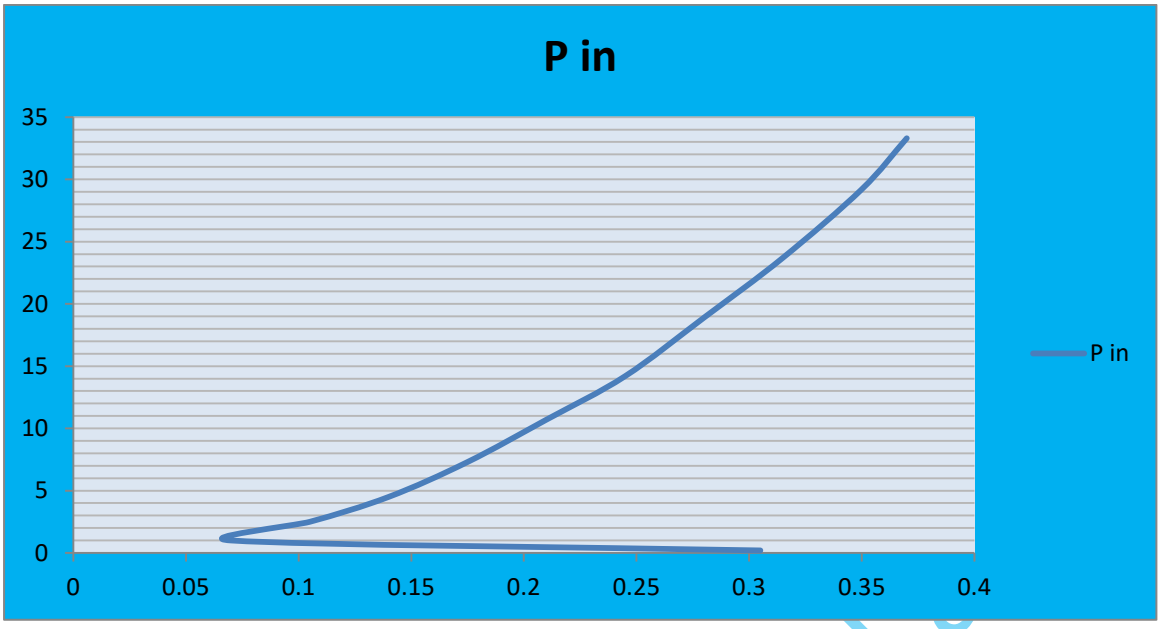
$$X_m=(X_1+?)$$

-سوالات تشریحی :

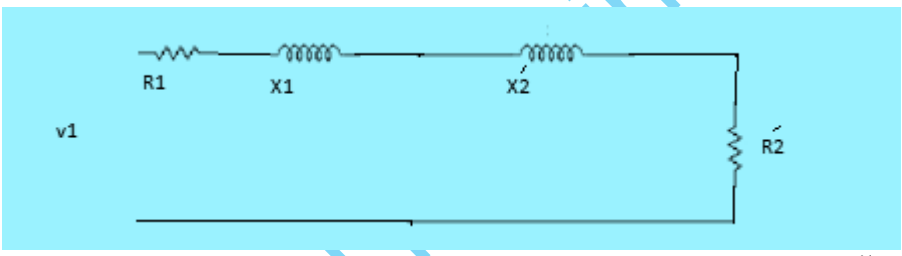
۱) مشخصه های$P_{in}=f(i_L)$, $i_L=f(v_L)$ را رسم کنید.



Electrical Machine Lab



۲) مدار معادل حالت روتور قفل شده موتور القایی را رسم کنید.



۳) با توجه به نتایج آزمایش نسبت تلفات مسی استاتور در جریان نامی به نصف جریان نامی محاسبه کنید.

$\Delta P_{CUSN} = 3.R_S.I_N^2$

$\Delta P_{CU\ S\ N/2} = 3\ .\ R_S\ .I_N/2^2$

$$\frac{\Delta Pcu\ sn}{\Delta Pcu\ sn/2} = \frac{3.Rs.in*in}{3.Rs.\frac{in}{2}*in/2} = \frac{in*in}{\frac{in}{2}*in/2} = \frac{4in*in}{in*in} = 4$$

میبینیم که نسبت تلفات مسی در جریان نامی به همین تلفات در نصف جریان نامی مقدار ٤ برابر میباشد.

٤) جریان راه اندازی موتور را محاسبه کنید.

$$I_S = \frac{V}{2} = \frac{67.4}{182.16} = 0.37\ A$$

$$Z = \frac{Vl}{il} = \frac{67.4}{0.37} = 182.16\ \Omega$$

۵) اگر موتور در حین کار در زیر بار متوقف شود مقدار جریان آن چقدر خواهد شد؟

مقدار این جریان برابر با جریان راه اندازی خواهد شد.

٦) با توجه به مدار معادل روش های کاهش جریان راه اندازی موتور القایی را بیان کنید.

این روش ها عبارتند از : الف) راه اندازی مستقیم در موتور های کوچک . ب) روش ستاره مثلث . ج) روش پله ای : ۱) استاتوری : با مقاومت راه انداز – با سلف راه انداز – توسط اتو ترانس . ۲) روتوری: برای موتور روتور رینگی با مقاومت راه انداز به کار میرود.

د) روش کلیدزنی: با استفاده از ادوات الکترونیک قدرت .

۷) پارامترهای مدار معادل را محاسبه نموده و مدار معادل را تشکیل دهید.

$V_{ph} = V_L$ $I_{ph} = \frac{Il}{\sqrt{3}}$ Δ→

$R_{dc} = 76.15\ \Omega$ $R_1 = 80.72\ \Omega$ $I_L = 189$ ma → $I_{ph} = 109$ ma

$$Z_O = \frac{Vph}{Iph} = \frac{380}{109\ ma} = 3.48\ k\Omega$$

$$R_C = \frac{3.Vph.Vph}{\Delta Pfe + \Delta Pmec} = \frac{3*380*380}{13.66} = 31.7\ k\Omega$$

$\Delta p_{CUS} = 9.14$ (W) $Z_{LLR} = \frac{Vphllr}{Iphllr} = \frac{67.4}{0.37} = 182\ \Omega$

$$COS\phi_{LLR} = \frac{Pin}{\sqrt{3}.Vllr.Illr} = \frac{33.3}{\sqrt{3}*67.4*0.37} = 0.77 \rightarrow sin\varphi = 0.63$$

$(R_1+R_2) = Z_{LLR} * COS\phi = 182*0.77 = 140\Omega$ $R_2 = 140-182 = 42\Omega$

$(X_1+X_2)_{LLR} = Z_{LLR} * SIN\phi = 182*0.63 = 114\Omega$

فرض شود داریم:Aاگر موتور کلاس

$X_1=X_2=57\ \Omega$

$$(X_1+X_m) = \sqrt{Zo^2 - Ro^2} = \sqrt{3.48^2 - 80.72^2} = 3.48\ k\Omega$$

$X_m = (X_1+X_m) - X_1 = 3.48^K - 57 = 3.42$ KΩ

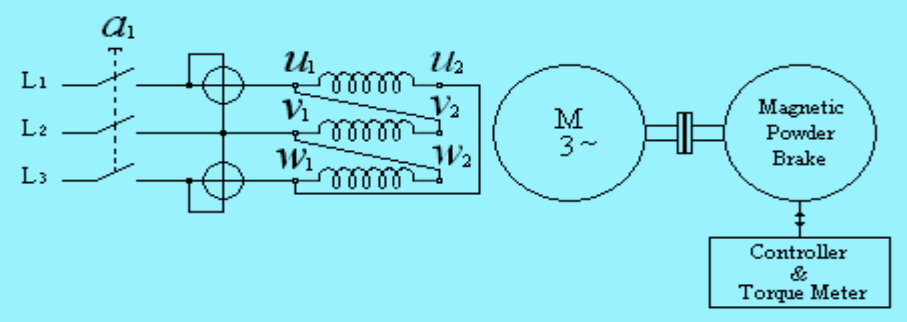
Electrical Machine Lab

آزمایش شماره ۸

آزمایش بارداری موتور القایی قفس سنجابی

هدف: تعیین مشخصه بارداری (یا همان مشخصه گشتاور دور موتور)

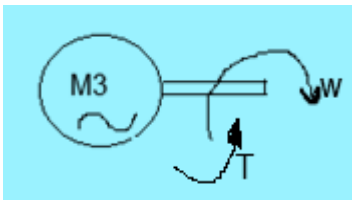
- **مدار آزمایش**



- **جدول آزمایش**

$I_L\ (A)$	0.8	0.85	0.9	0.95	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.22
P_{in}										
n_r										
T										
s										
$\cos\varphi$										
ΔP_{cus}										
P_2										
$\Delta P_{Fe}+\Delta P_{mec}$										
η										

منظور از بار موتور یعنی چه؟ جریان یا ژنراتور به حساب می آید. ولی بار موتور آن گشتاور مکانیکی روی شفت است. مثلا برای تسمه برای دریل پروانه و... یعنی وزن مکانیکی که روی شفت موتور قرار میگیرد این بار موتور است.



نکته۱: منظور از بار موتور گشتاور مخالف یا ترمزی است که روی شفت موتور قرار میگیرد.

Electrical Machine Lab

توان خروجی مکانیکی $\omega_r=\frac{2\pi.Nr}{60}$ → $P_2= T_2.\omega_r$

N_R توسط دور سنج به دست می آید

این توان که توان مکانیکی است را با واتمتر نمیتوان اندازه گرفت . با واتمتر فقط توان ورودی یا توان الکتریکی در موتور را میتوان اندازه گرفت.

را چطور اندازه میگیرند؟ با گشتاور سنج اندازه گیری میکنند.p_2ولی

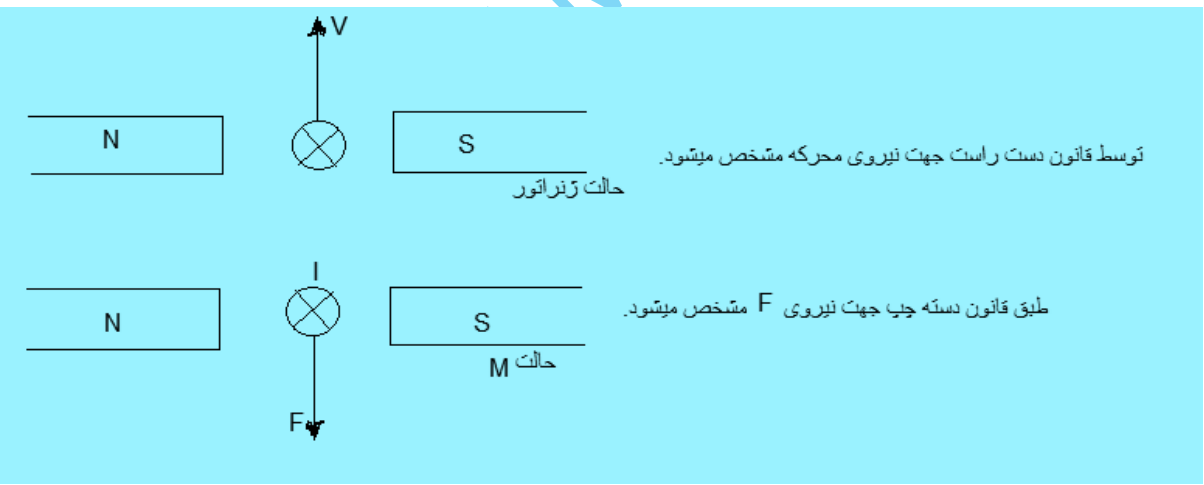
انواع نمونه های گشتاور سنج یا ترمز:

الف) روش گشتاور سنج یا ترمز ژنراتوری

ب) روش گشتاور سنج یا ترمز پودر مغناطیسی(برادهٔ آهن که ما از این روش استفاده میکنیم)

ج) روش گشتاور سنج یا ترمز فوکو

الف) گشتاور سنج یا ترمز ژنراتوری



وقتی نیروی مخالف به نیروی محرکه بچربد ژنراتور نمیچرخد یا اصطلاحا ژنراتور میخوابد.

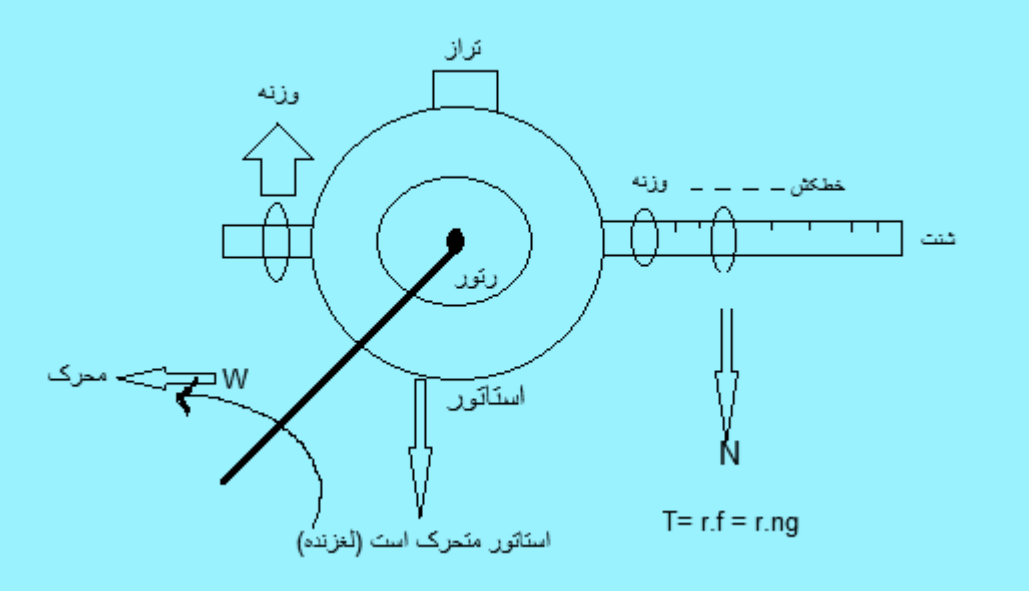
نکته ۲: پس هر ژنراتور هنگام کار حالت موتوری در آن اتفاق می افتد و همینطور در موتور هم هنگام کار حالت ژنراتوری در آن اتفاق می افتد.

Machine Lab

نکته ۳: در هنگام باردهی ژنراتور نیروی ترمزی به هادی ها از طرف میدان دادهِ میشود که به مقدار جریان ژنراتور بستگی دارد و میتواند به عنوان ملاک برای اندازهِ گیری گشتاور به کار میرود.

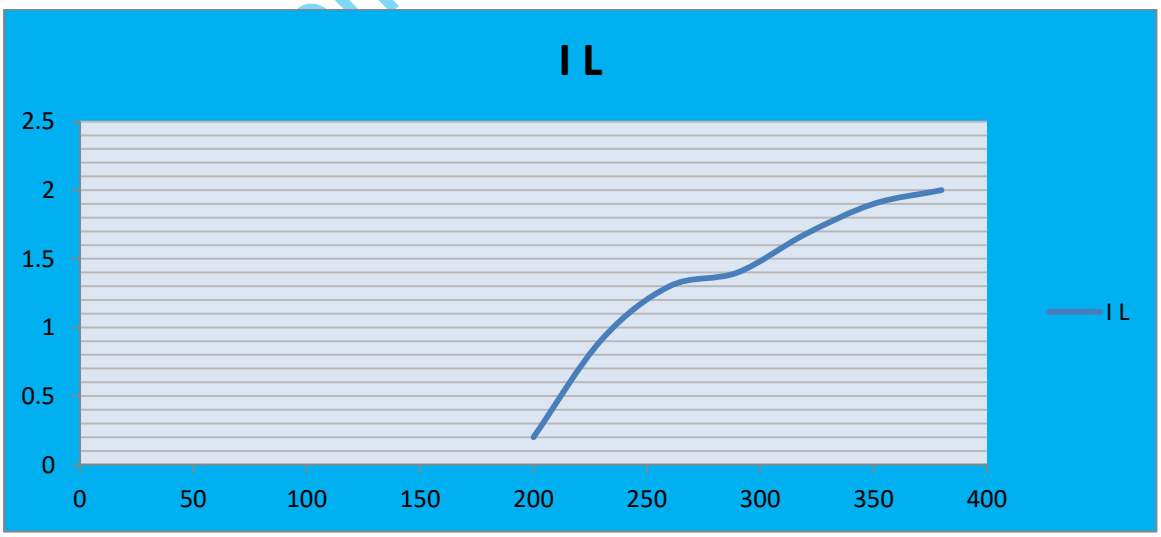
اساس کار یک نمونه گشتاور ژنراتوری :

گشتاور سنج ژنراتوری برای گشتاور های زیاد به کار میرود مانند گشتاور موتو خودرو.

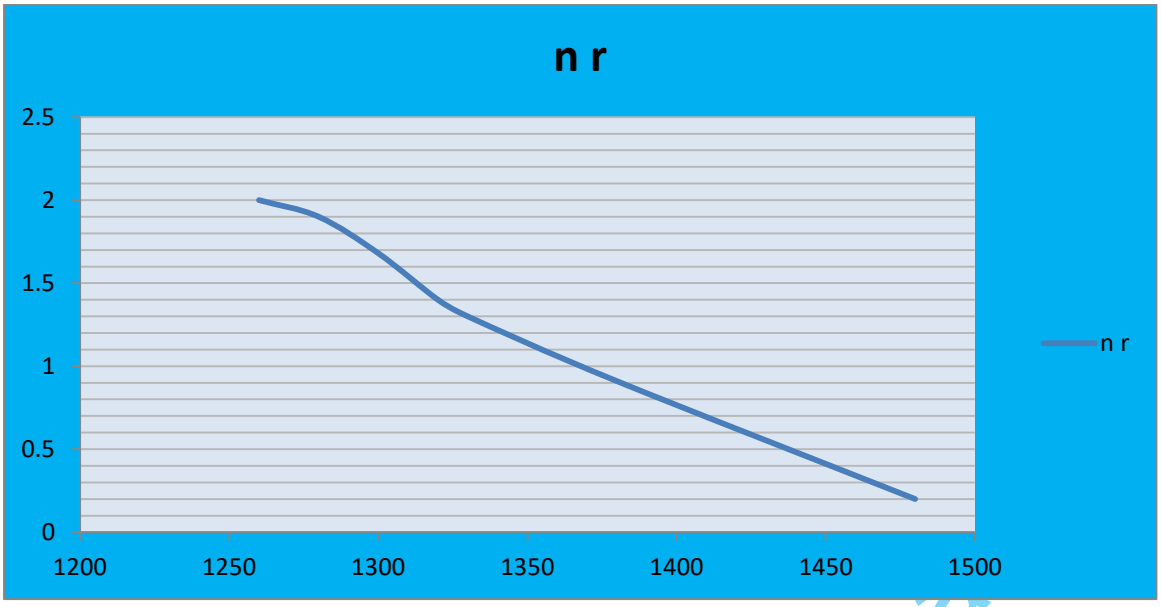


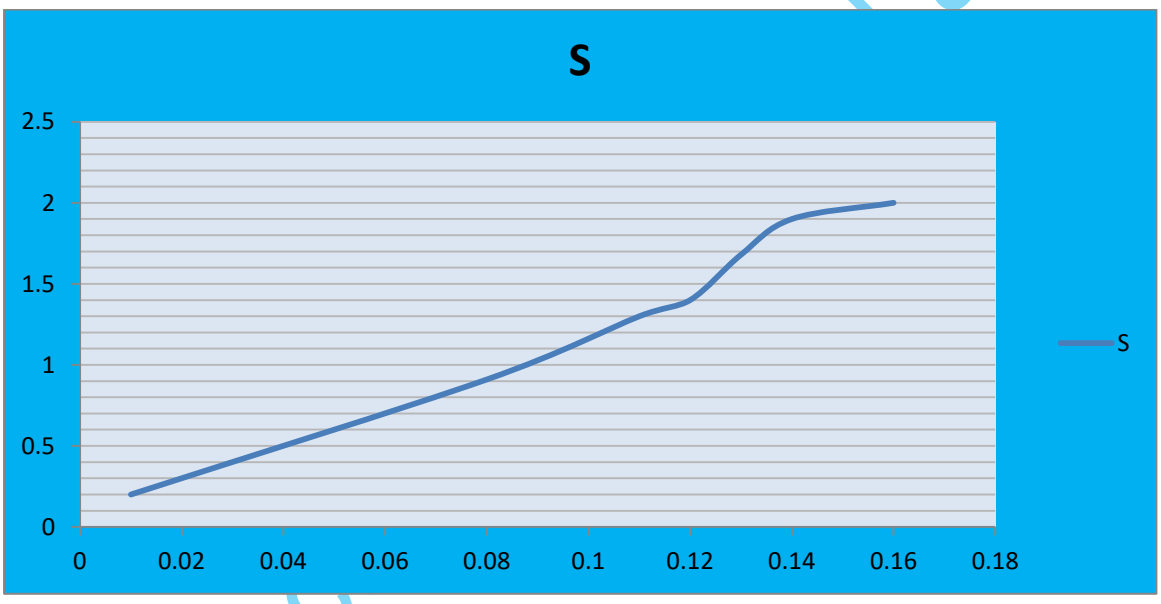
-سوالات تشریحی :

۱) مشخصه های $T=f(i_L)$ ،$T=f(n_r)$ ،$T=f(s)$ را رسم کنید.



Dinmohhamadi & nima moharramkhani





۲) آزمایش بارداری به صورت تئوری انجام شود.

$N_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60*50}{2} = 1500\ r.p.m$

راندمان $= \frac{P2}{P1} = \frac{0}{17.6} = 0$

$S = \frac{Ns-Nr}{Ns} = \frac{1500-1480}{1500} = 0.01$

$\Delta P = P_1 - P_2 = 17.6 - 0 = 17.6\ (w)$

$T_2 = \frac{60*P2}{2\pi*n} = \frac{60*0}{2\pi*1480} = 0\ (n.m)$

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

اینورتر

مقدمه

از نظر شما چرا به اینورتر نیاز داریم؟

دلایل فراوان و متعددی برای استفاده از اینورتر وجود دارد.در بعضی از کاربردها همچون ماشینهای تولید اجرای فرآیند بدون بکار بردن اینورتر میسر نمی باشد و در بعضی کاربردها نیز مانند پمپ های گریز از مرکز بکارگیری اینورتر نقش بسزایی در صرفه جویی انرژی دارد.

بطور کلی اینورتر در موارد زیر بکار میرود:

-انجام تنظیمات مورد نیاز جهت سرعت یک فرآیند

-انجام تنظیمات مورد نیاز جهت گشتاور یک فرآیند

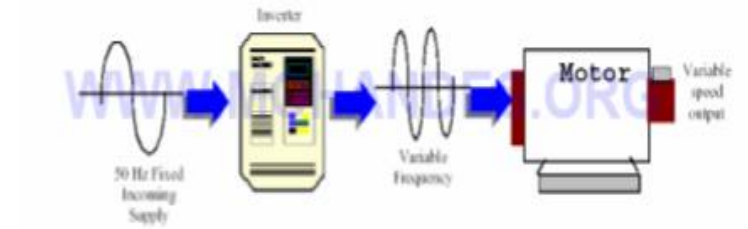
-صرفه جویی و انرژی و افزایش بازدهی

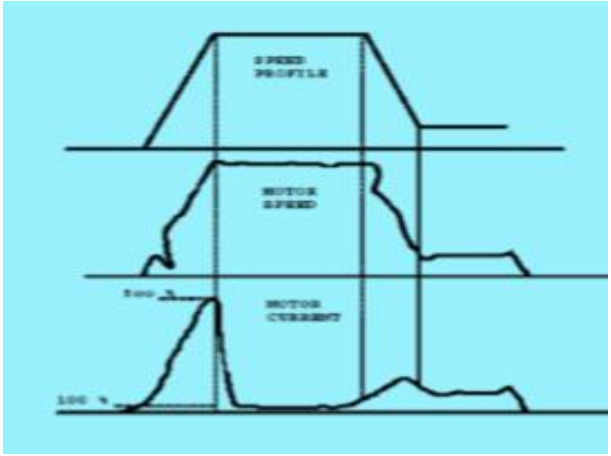
-کاربرد اصلی اینورتر

اصلی ترین کاربرد اینورتر AC ، کنترل سرعت موتورهای القایی AC است.

چگونه؟

با اعمال جریان با فرکانس متغیر به موتور این امر تحقق می یابد.





گاه بجای استفاده از اینورتر از موتورهای دوسرعته استفاده می نمایند که بکارگیری این روش مزایا و معایب خاص خود را دارا می باشد.

Electrical Machine Lab

مزایا:

-از اینورتر ارزان تر می باشد.

-براحتی نصب میشود.

-نویز EMI بسیار کمی دارد.

معایب:

-جریان راه اندازی بسیار بالایی در حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ درصد جریان نامی را دارا میباشد.

-در هنگام شروع بکار و توقف ضربه های بسیار شدیدی وارد میکند.

-کنترل فقط برای دو سرعت مشخص موجود میباشد.

-زمان زیادی را برای کاهش و تغییر سرعت نیاز دارند.

روشهای کنترل سرعت

اگر موتور القایی سه فاز به شبکه ای با ولتاژ و فرکانس ثابت وصل شود ، در اینصورت پس از راه اندازی ، در سرعتی حوالی سرعت سنکرون خواهد چرخید.گفتنی است با افزایش گشتاور بار ، سرعت به میزان کم کاهش می یابد.لذا این موتورها تقریبا از نوع موتورهی سرعت ثابت فرض می شوند.اما در برخی صنایع لازم است که سرعت موتور در یک محدوده و طیف نسبتا وسیعی تغییر کند.موتورهای DC بطور سنتی برای مواردی که کنترل سرعت مورد نیاز است بکار میرود.اما موتورهای DC گران بوده و به تعمیرات و نگهداری کموتاتور و جاروبک ها نیاز دارد.در عوض موتورهای القایی بویژه نوع قفس سنجابی ارزانتر و با طول عمر بلند بوده و کموتاتور نیز نیاز ندارند لذا برای سرعتهای زیاد بسیار مناسب اند.

امروزه با پیشرفت علم الکترونیک قدرت و پیدایش کنترل کننده های حالت جامد ، کنترل سرعت موتور القایی رو به تکامل است .

حال به بررسی چند روش کنترل سرعت می پردازیم:

Electrical Machine Lab

تغییر قطب ها

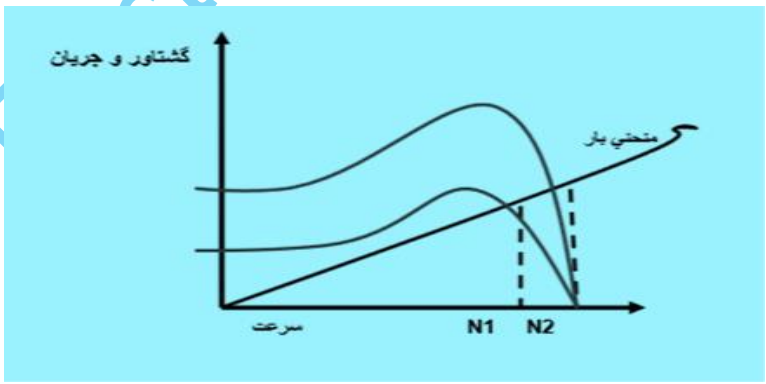
میدانیم سرعت موتور خیلی به سرعت سنکرون ، که از رابطه زیر محاسبه می گردد ، نزدیک است:

$N_s=\frac{120f}{P}$ ، لذا اگر سرعت سنکرون را تغییر دهیم سرعت چرخش روتو نیز تغییر می نماید.برای تغییر سرعت سنکرون می توان از تغییر تعداد قطب ها استفاده نمود.

این امر توسط تغییر اتصال کلافهای استاتور امکان پذیر است.معمولا تغییر تعداد قطبها از نسبت ۲ به ۱ تبعیت میکند و لذا در این روش از دو سرعت سنکرون مختلف حاصل میگردد.گفتنی است که در برخی از روتورها ، استاتور دارای دو سیم پیچ سه فاز جداگانه و مستقل است و هرکدام دوسرعت سنکرون مهیا می سازند و در کل چهار سرعت سنکرون خواهیم داشت.ولی باید توجه داشته باشید که با تغییر تعداد قطب ها سرعت بصورت پله ای تغییر خواهد نمود.

کنترل ولتاژ

دیده شده که گشتاور موتور الفایی با مجذور ولتاژ متناسب میباشد.لذا با تغییر ولتاژ ، منحنی گشتاور – سرعت تغییر کرده و در نتیجه منحنی بار ، منحنی های گشتاور سرعت مختلف را در سرعتهای متفاوت قطع خواهد نمود.

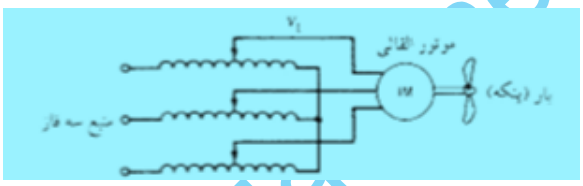


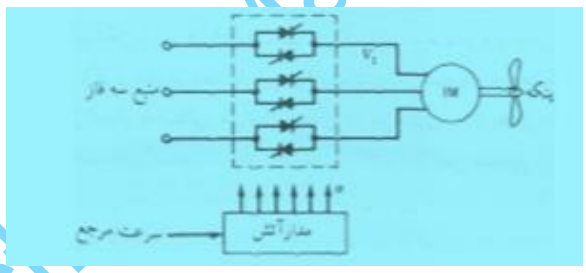
تغییر ولتاژ پایانه های استاتور می تواند با یک ترانسفورماتور یا خروجی متغیر انجام گیرد.یکی دیگر از روش های تغییر ولتاژ استفاده از کنترل کننده های جامد یا الکترونیکی میباشد.اما کنترل کننده های حالت جامد بر خلاف اتوترانس ها به موتور ولتاژ غیرسینوسی اعمال مینمایند.در موتورهای کوچک می توان مستقیما آنرا به کنترل کننده

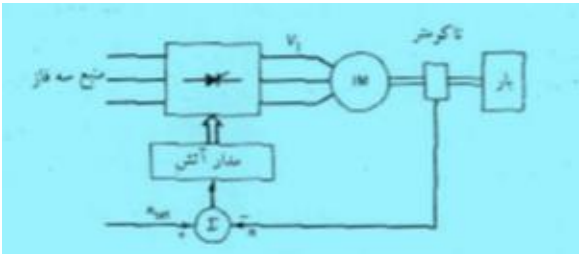
Electrical Machine Lab

جامد که یک کنترل کننده تریستوری است متصل نمود.اما در موتورهای بزرگ بین کنترل کننده ی تریستوری و موتور باید صافی قرار داد.زیرا در غیر اینصورت جریانهایی با هارمونیک بالا در خط تغذیه موتور براه میفتد.در این کنترل کننده های حالت جامد با تغییر زاویه آتش تریستورهای بکار رفته در آن ولتاژهای مختلف ایجاد و کنترل خواهد شد.و با اعمال ولتاژهای مختلف موتور در سرعتهای مختلف کارکرد خواهد داشت.

اگر کنترل سرعت دقیق مد نظر باشد کنترل حلقه باز در برخی کاربردها ارضا کننده نیست لذا از سیستم کنترلی حلقه بسته استفاده می نمایند.در این حالت اگر بعلتی سرعت موتور تغییر نماید تفاوت میان سرعت مرجع و سرعت واقعی موتور باعث تغییر زاویه آتش تریستورها شده و در نتیجه ولتاژ پایانه ماشین افزایش می یابد و این امر سبب افزونی گشتاور شده و سرعت به مقدار قبلی باز خواهد گشت.







کنترل فرکانس

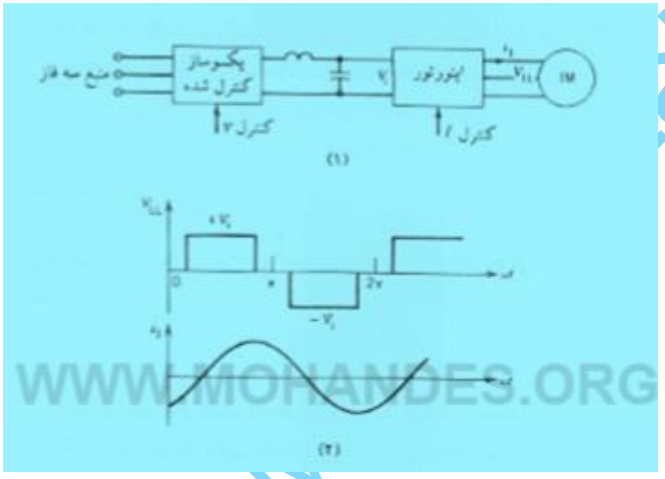
میدانیم سرعت سنکون بقرار زیر است و سرعت موتور حوالی این سرعت میباشد:

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

$N_s=\frac{120f}{P}$

یکی از راههای تغییر n_s و متعاغبا n تغییر فرکانس منبع تغذیه میباشد.لذا به یک تغییر دهندهٔ فرکانس در سر راه موتور نیاز داریم.

شکل زیر بلوک دیاگرام یک سیستم حلقه باز را نشان میدهد که فرکانس منبع تغذیه موتور را تغییر خواهد داد.این سیستم شامل یکسوساز کنترل شدهٔ AC/DC ی باشد و علاوه بر یکسوساز این سیستم حاوی یک اینورتر DC/AC نیز میباشد.

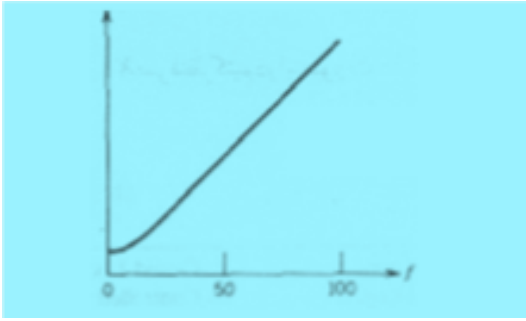


به سهولت از صورتیکه $E_{ac}=4.44fN_{ph}\Phi_g K_w$ رابطه داریم که در $\Phi_g \propto \frac{E}{f}$

از افت ولتاژها صرف نظر شود خواهیم $\Phi_g \propto \frac{V}{f}$ داشت لذا برای پرهیز از اشباع زیاد درسیستم

مغناطیسی باید ولتاژ پایانه موتور متناسب با فرکانس تغییر نماید.این نحوه کنترل را V/F ثابت نام نهاده اند.در اینجا باید گفت در فرکانسهای پایین افت ولتاژ قابل صرفنظر کردن نیست و لذا دیگر نمی توان رابطه فوق را بکار بردلذا برای تامین و برقراری چگالی شار مشابه نسبت V/F را در فرکانسهای پایین افزایش داده میشود که شکل زیر تغیرات مورد نیاز ولتاژ برحسب فرکانس را نشان میدهد.

Electrical Mohandes Lab
WWW.MOHANDES.ORG

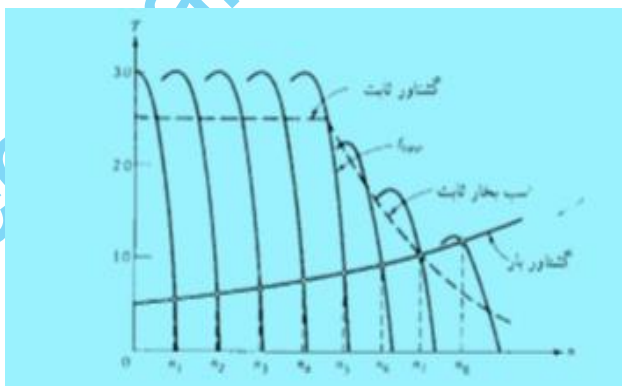


تغییر V بوسیله تغییر زاویه آتش یکسو ساز کنترل شده امکان پذیر است.

منحنی زیر مشخصه ی گشتاور-سرعت موتور القایی سه فاز را تحت فرکانسهای متغیر نشان میدهد.

در فرکانس نامی ولتاژ پایانه موتور حداکثر مقداریست که توسط اینورتر حاصل میشود.در فرکانسهای زیر فرکانس مبنا شار شکاف هوایی با تغییر V نسبت به F ثابت نگه داشته می شوند لذا در ناحیه فرکانس مبنا گشتاور ماکزیمم ثابت باقی خواهد ماند.

در ناحیه فرکانسهای بیش از فرکانس مبنا دیگر V را نمی توان متناسب با فرکانس افزایش داد .در این حالت شار در شکاف هوایی کاهش یافته و در نتیجه گشتاور ماکزیمم نیز کاهش می یابد.

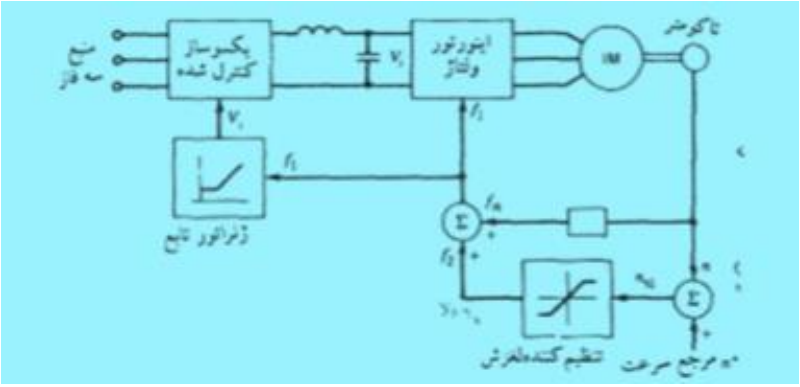


باید گفت سرعتهای n1 تا n8 خیلی به سرعتهای سنکرون مربوطه نزدیک میباشند لذا در این روش کنترل سرعت ، لغزش ، عموما کوچک و با بازدهِ بسیار بالا میباشند.

سیستم کنترل با حلقه بسته

در بسیاری از کاربردهای صنعتی از سیستمهای کنترل با حلقه بسته شامل فیدبک استفاده میشود که شکل زیر بلوک دیاگرام آنرا نشان میدهد:

Dinmohhamadi & nima moharramkhani



در این سیستم کنترل ، تغییر فرکانس لغزش ، و عملکرد موتور تحت V/F مد نظر میباشد.

در ابتدای امر تفاوت بین سرعت مرجع و سرعت واقعی موتور ، سرعت لغزش یا ns را حاصل میسازد و لذا فرکانس لغزش مهیا میشود.اگر فرکانس لغزش در حوالی فرکانس شکست یا پرتگاهی باشد توسط یک تنظیم کننده لغزش که دارای محدود کننده میباشد آنرا محدود میسازیم.بعبارت دیگر فرکانس لغزش را مجبور میسازیم که کمتر از فرکانس شکست گردد.اکنون فرکانس لغزش را با سیگنال سرعت موتور جمع کرده تا سیگنال سرعت استاتور حاصل شود.در این بلوک دیاگرام یک سیگنا ژنراتور وجود دارد و وظیفه ی آن این است که سیگنال را طوری مهیا سازد تا ولتاژبدست آمده توسط یکسوساز کنترل شده برای عملکرد موتور با کنترل v/f ثابت منایب باشد.ورودی این سیگنال ژنراتور ، فرکانس استاتور و خروجی آن سیگنال اعمالی به یکسوساز میباشد.

توضیحی کوتاه درمورد مبدلها

یکسوساز: (مبدل AC به DC)

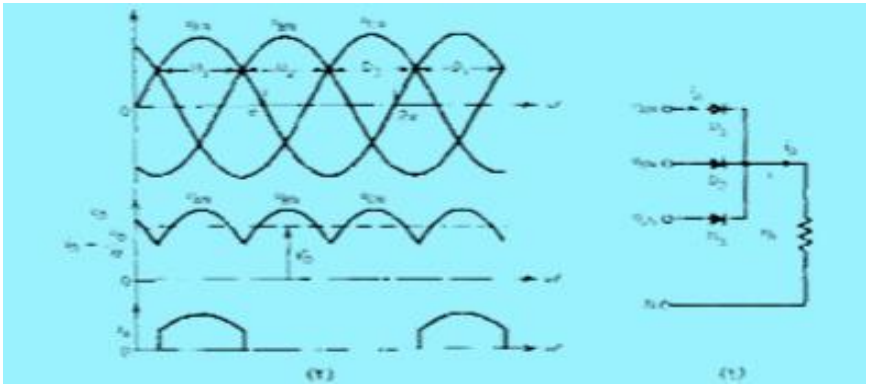
این مبدل ولتاژ AC ثابت را به ولتاژ DC متغیر تبدیل مینماید و جهت کنترل سرعت موتورهای DC بکار میرود. ولتاژ خروجی توسط کنترل لحظه کلیدزنی عنصر نیمه هادی قابل کنترل و تنظیم میباشد.

یکسوسازهای سه فاز

یکسوساز دیودی نیم موج

نمونه ای از یکسوساز در شکل زیر نمایش دادهٔ شده است:

Electrical Machine Lab



ولتاژ هریک از بارها از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$V_{an} = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$$
$$V_{bn} = \sqrt{2}V_s \sin (\omega t - 120^\circ)$$
$$V_{cn} = \sqrt{2}V_s \sin (\omega t + 120^\circ)$$

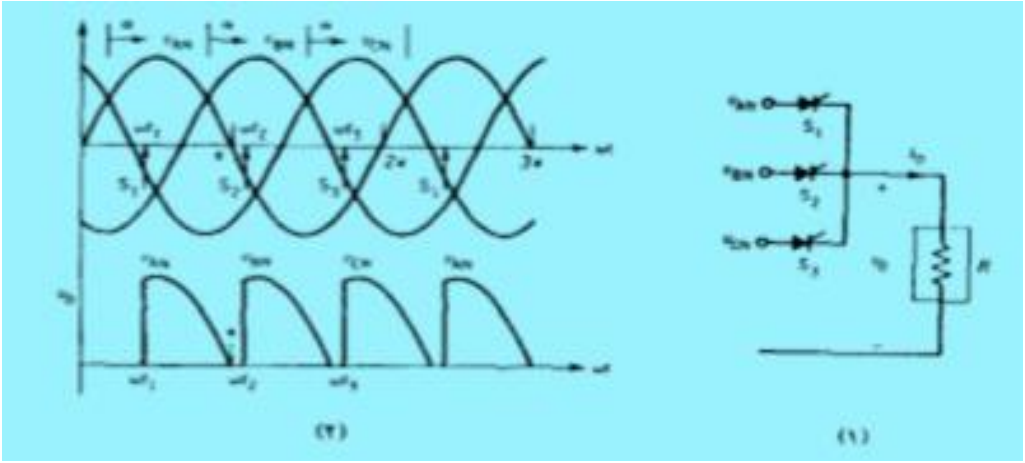
ر این سیستم توالی هدایت دیودها بصورت .....D1,D2,D3,D1, میباشد.هر دیود در یک دورهٔ ۱۲۰ درجه ای یکبار هدایت میکند و در هر لحظه دیودی که ولتاژ لحظه ای فاز متصل به آن بیشتر باشد هدایت خواهد نمود.

مثلا در دورهٔ زمانی 30<wt<150 داریم:

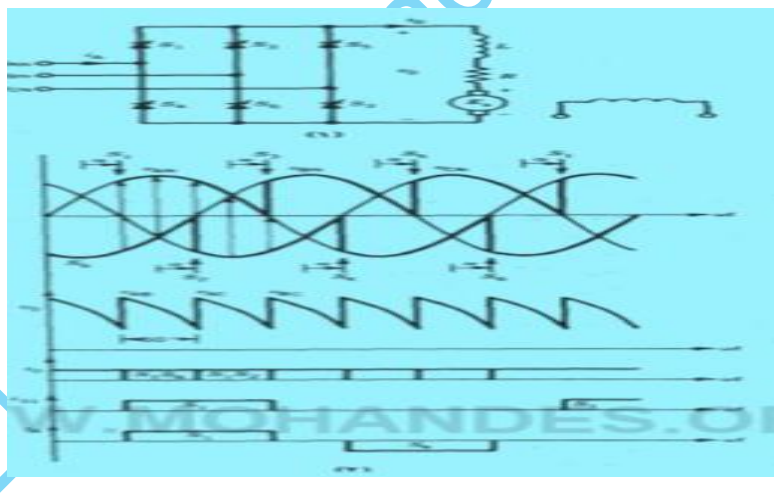
VAN>VBN VAN>VCN

لذا در این دورهٔ فقط دیود D1 هدایت میکند و ولتاژ دوسر بار برابر با VAN خواهد بود در واقع ولتاژ خروجی همان پوش بیشترین ولتاژ ورودی در هر لحظه میباشد.یکسوساز نیم موج تریستوری نیز مانن یکسوساز نیم موج دیودی میباشد با این تفاوت که علاوه بر فزونی ولتاژ دوسر تریستور نسبت به تریستورهای دیگر اعمال فرمان آتش برای هدایت آن لازم میباشد.لذا با تغییر زاویه آتش میتوانید متوسط ولتاژ خروجی را کنترل نمایید.

Electrical Machine I



نمونه ای از مبدل تریستوری کامل



Electrical Machine Lab
WWW.MOHANDES.OI

اینورتر(مبدل DC به AC)

اینورتر قادر است توان DC را به AC تبدیل نماید و خروجی آن ولتاژ وفرکانس معین قابل حصول است.از اینورترها برای کنترل سرعت موتورهای AC استفاده میشود.اینورترها بر دونوع اند:

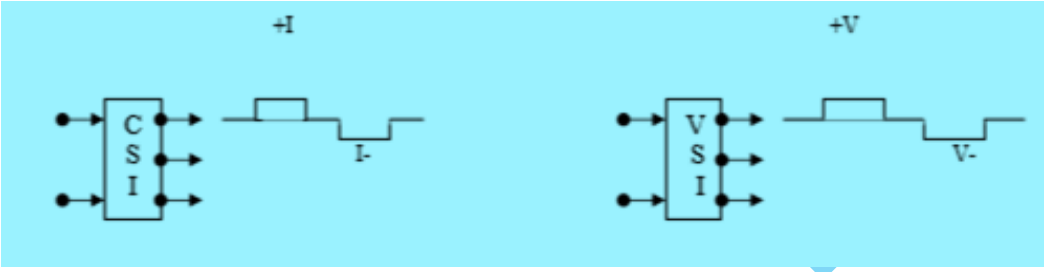
۱-اینورترهای منبع ولتاژ (VSI)

۲-اینورترهای منبع جریان (CSI)

باید دانست:

الف:در اینورترهای VSI ورودی سیستم منبع تغذیه DC بوده و خروجی اینورتر ولتاژی مربعی شکل میباشد.

ب: در اینورترهای CSI ورودی سیستم جریان DC بوده و خروجی اینورتر جریانی مربعی شکل میباشد.

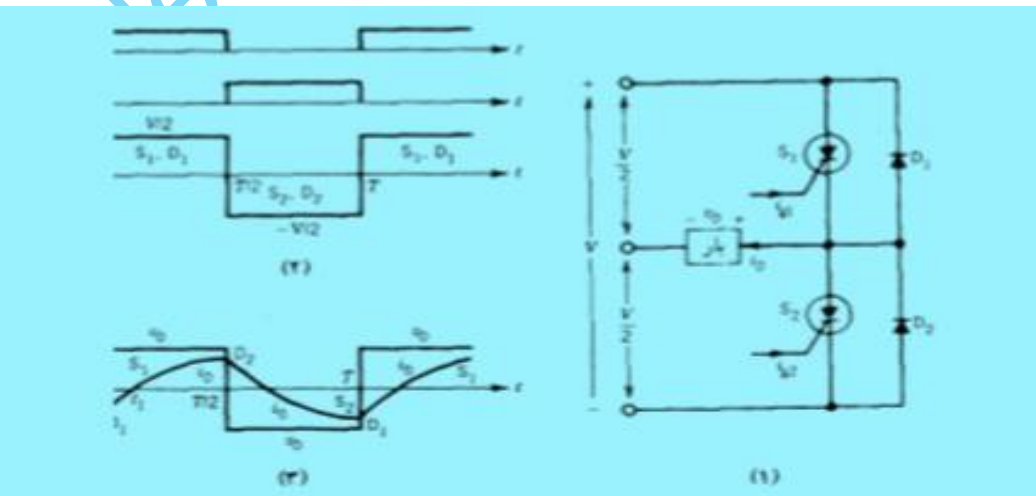


اینورتر منبع ولتاژ

ورودی این اینورترها یک ولتاز DC است که میتواند از یک باطری یا یک یکسوساز تعیین شده باشد.

اینورتر VSI تکفاز

مدار این اینورتر در شکل زیر نمایش دادهٔ شده است:



Electrical Machine

ولتاژ منبع تغذیه DC حاوی انشعاب مرکزی است.S1 و S2 تریستور بوده و D1 و D2 به دیودهای فیدبک معروف میباشند.در نیم سیکل مثبت ولتاژ خروجی تریستور S1 روشن شده و داریم:

Vo=+V/2

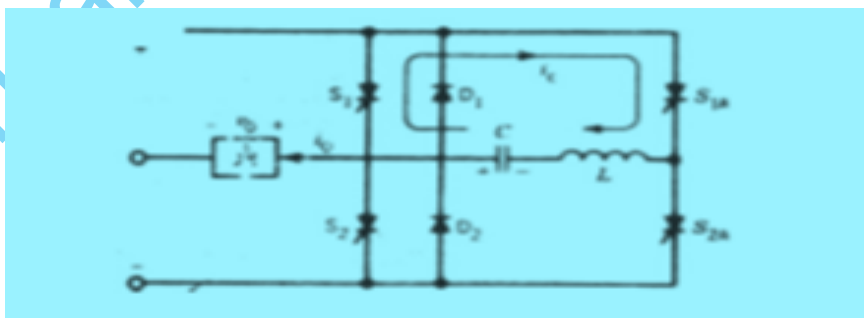
در نیم سیکل منفی ولتاژ خروجی تریستور S2 روشن شده و داریم:

Vo=-V/2

باید دانست قبل از روشن شدن تریستور تریستور دیگر میبایست خاموش باشد و خاموش بماند.در غیر اینصورت هردو تریستور هدایت کرده و منبع DC ورودی اتصال کوتاه میشود.

دیودها زمانی هدایت می نمایند که پلاریته جریان ها و ولتاژها یکسان نباشد.

درصورت استفاده از تریستورهای معمولی میبایست مدار کموتاسیون نیز جهت خاموش سازی آنها در سیستم تعبیه گردد.یکی از مهمترین این مدارات مدار مک موری میباشد که در زیر نمایش داده شده است:

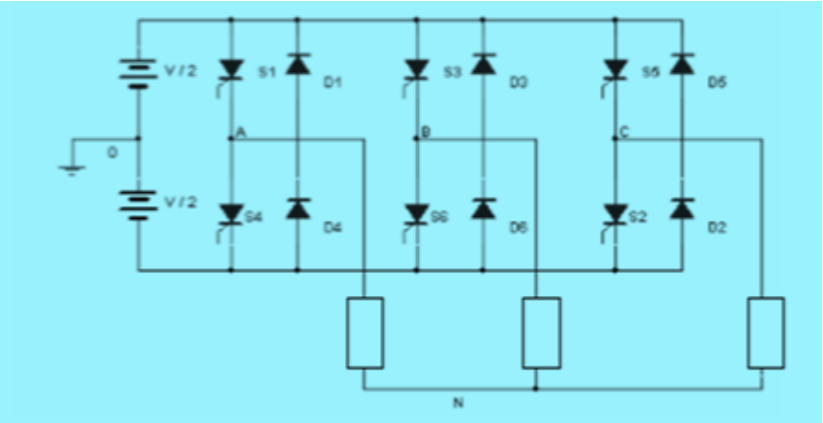


در اینصورت با آتش کردن S1A جریان معکوس که بصورت نمایی افزایش می یابد از تریستور S1 عبور کرده و زمانیکه این جریان برابر جریان بار گردد مجموع جریان عبوری از تریستور صفر خواهد شد و تریستور خاموش میشود.

اینورتر سه فاز

با استفاده از سه مبدل DC به AC تکفاز می توان به سیستم اینورتر سه فاز دست یافت که نمایی از آن در شکل زیر آمده است:

Electrical Machine Lab



در این شکل بار بصورت ستاره بسته شده است.آتش کردن و در نتیجه عملکرد سه پل نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارد.هرگاه S1 در wt=0 آتش شود فاز A به پلاریته مثبت منبع DC وصل میشود و داریم:

VAO=V/2

اگر S4 در $wt=\pi$ آتش شود فاز A به پلاریته منفی منبع DC وصل میشود و داریم:

VAO=-V/2

شکل موجهای VBO و VCO شبیه VAO بوده ولی نسبت بهم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند.ولتاژهای خط به خط به قرار زیر میباشند:

VAB=VAO-VBO

VBC=VBO-VCO

VCA=VCO-VAO

ولتاژهای خط به خط بصورت ترسیمی حاصل می گردد و در شکل زیر رسم شده است.این ولتاژها شبیه مربع بوده و عرض پالس ها ۱۲۰ درجه میباشد.ولتاژ فازها را می توان بصورت زیر بدست آورد:

VAO=VAN+VNO

VBO=VBN+VNO

VCO=VCN+VNO

Electrical Machine Lab

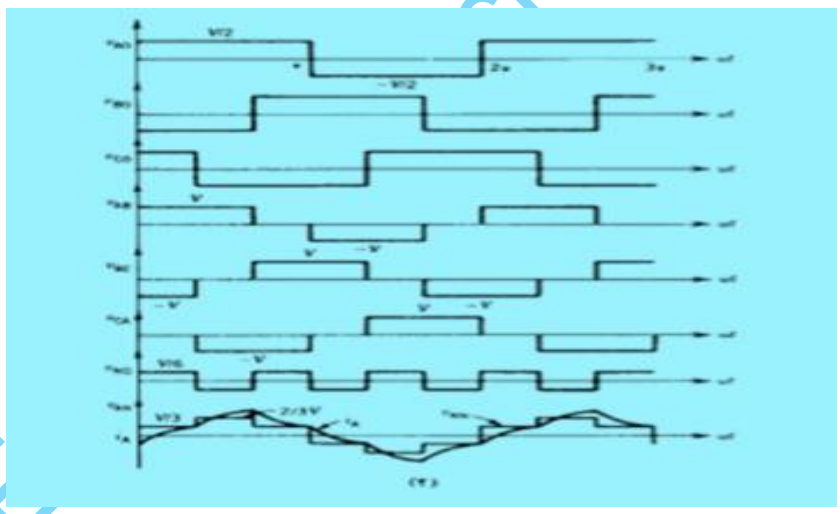
برای عملکرد سه فاز متقارن داریم:

VAN+VBN+VCN=0

از روابط فوق داریم:

VNO=(VAO+VBO+VCO)/3

شکل موج VNO در زیر آمده است:



شکل موج های VBN و VCN مانند شکل موج VAN بوده اما نسبت بهم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند.

فرکانس این ولتاژ سه برابر فرکانس خروجی اینورتر است.VNO اختلاف ولتاژ بین نقطه خنثی بار و منبع تغذیه است.

ولتاژهای فازها بصورت زیر محاسبه خواهند شد:

VAN=VAO-VNO=2 VAO/3-(VBO+VCO)/3

Dinmohhamadi & nima moharramkhani

VBN=VBO-VNO=2 VBO/3-(VAO+VCO)/3

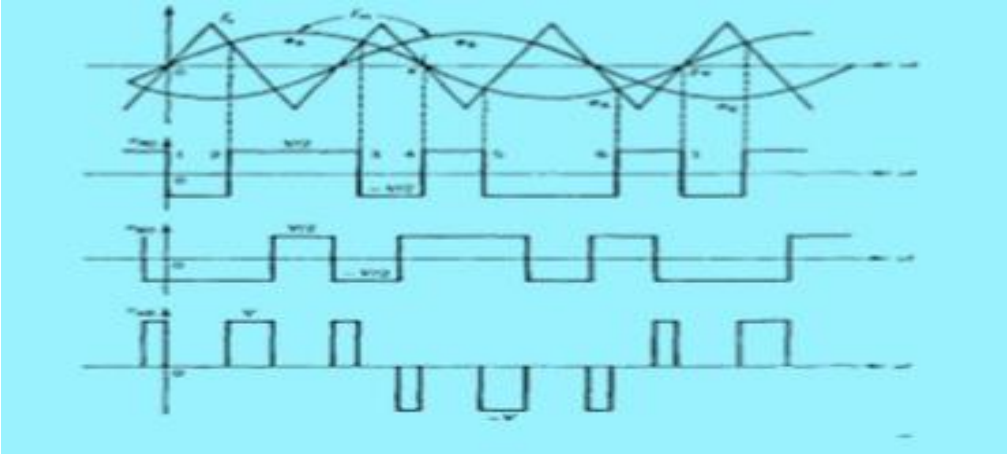
VCN=VCO-VNO=2 VCO/3-(VAO+VBO)/3

اینورترهای مدولاسیون پهنای باد (PWB)

در بسیاری از کاربردها به ولتاژمتغیر نیاز داریم.بعنوان مثال می توان گفت در کنترل سرعت موتورهای القایی ولتاژ باید با فرکانس تغییر کند تا فرکانس شار ثابت بماند.(کنترل V/F)

ولتاژ خروجی اینورتر را می توان با تغییر عرض پالس هر نیم سیکل کنترل نمود.

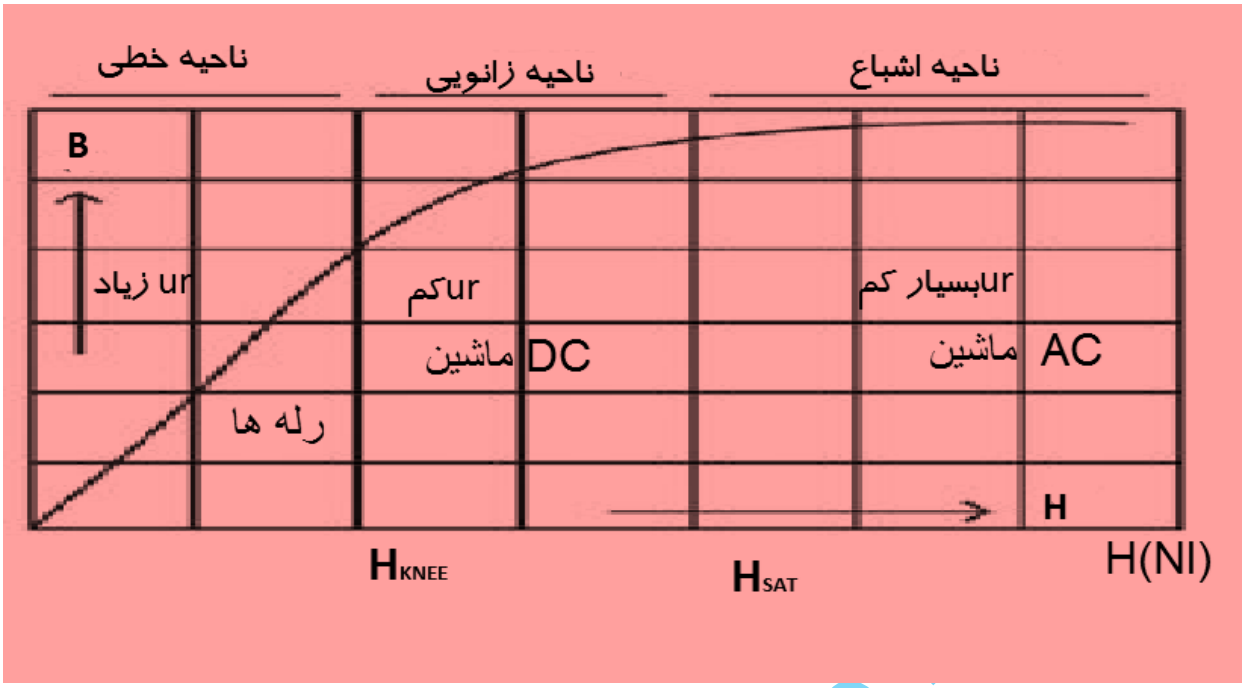
شکل زیر را در نظر بگیرید که در آنپل اینورتر تکفاز نمایش دادهٔ شدهٔ است:



زاویه آتش تریستورهای S2 و S3 با زائیه آتش تریستورهای S1 و S4 بمیزان ۷ درجه اختلاف فاز دارد که این امر باعث میشود ولتاژهای VAO و VBO و ولتاژ دوسر VAB مطابق شکلهای زیر باشد.

و عرض پالس در این ولتاژ ۷ است یا تغییر این زاویه می توان عرض پالس خروجی را تغییر داد.

Dinmohhamadi & nima moharramkhani



منحنی B-H مواد پارامغناطیس و فرومغناطیس

I : ناحیه ی خطی(ناحیه ی اشباع نشده): در این ناحیه منحنی مغناطیسی تقریبا شکل خطی دارد در این ناحیه ضریب نفوذ مغناطیسی ur هسته زیاد می باشدکه برای عمل کرد بعضی از رله ها به کار می رود.

II : ناحیه زانویی (خمیدگی): در این ناحیه منحنی مغناطیسی تغییرات زیادی ندارد و ضریب نفوذ مغناطیسی ur نسبتا مقدارکمی دارد وماشین های DC به دلا یل کنترلی در ناحیه زانویی کار می کنند.

III : ناحیه اشباع (تخت) : در این ناحیه منحنی مغناطیسی تغییراتی ندارد و ضریب نفوذ مغناطیسی ur بسیارکم می باشد که در این حالت هسته اشباع شدهِ است .

در ماشین های AC سه فاز و تکفاز وترانسفورماتور ها نقطه کار ماشین به دلایل اقتصادی در ناحیه اشباع می باشد .

منابع : ماشین های الکتریکی پروفسور بیم بهارا – ماشین های الکتریکی پروفسور پی سی سن – چاپ من – ماشین های الکتریکی کراوز- ماشین های الکتریکی فیتزجرالد

Dinmohhamdi & nima moharramkhani

Electrical Machine