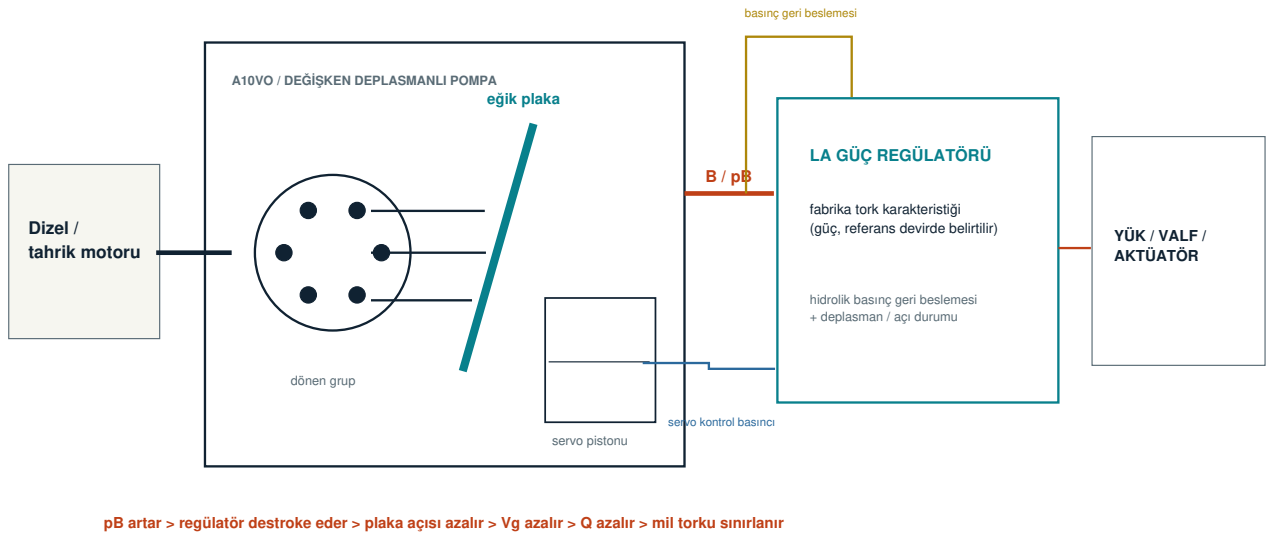


A10VO Series 32

LA Güç Kontrolü

Çalışma mantığı, tork/güç fiziği, servo-destroking davranışı, LA.D / LA.DG / LA.S / LA.DS ve sayısal örnekler

Bosch Rexroth RE 92705 veri sayfasının 7, 9-14. sayfalarındaki LA kontrol yapısını mühendislik mantığıyla ayrıntılı açıklayan uygulamalı kılavuz.



Türkçe · Rev B · 2026-09

Bu kılavuzda neyi anlayacağız?

LA kontrolünü yalnızca “sabit güç pompası” diye ezberlemek yerine, basınç yükseldiğinde pompanın neden ve nasıl destroke ettiğini adım adım takip edeceğiz.

Kaynağın söylediği temel cümle

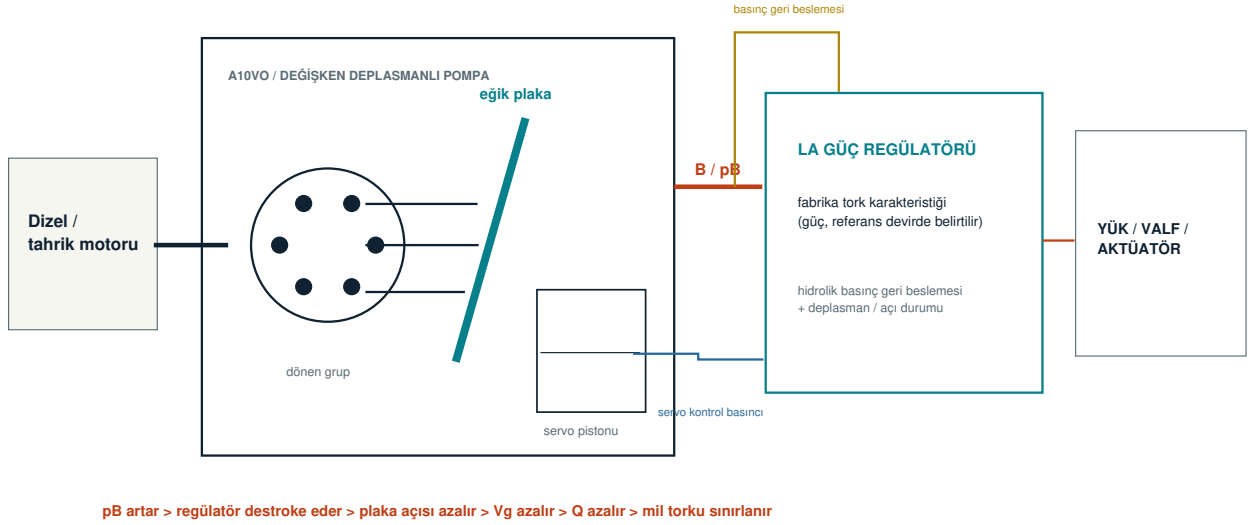
RE 92705 sayfa 13: değişken çalışma basınçlarında sabit sürücü torku elde etmek için pompanın swivel angle değeri ve buna bağlı debisi değiştirilir; $\text{debi} \times \text{basınç}$ çarpımı yaklaşık sabit tutulur. Debi kontrolü güç kontrol eğrisinin altında mümkündür.

- A10VO’nun değişken deplasmanını oluşturan eğik plaka (swashplate) - piston stroku - Vg ilişkisi.
- LA regülatörünün basınç yükseldiğinde servo sistemi neden destrocking yönüne ittiği.
- Neden LA ayarının özünde tork karakteristiği olduğu, fakat katalogda kW @ rpm biçiminde belirtildiği.
- Tam deplasman, LA güç/tork sınırlama ve DR basınç kesme bölgelerinin birbirinden farkı.
- LA5-LA9 sınıflarının nasıl okunacağı ve NG71 / 20 kW @ 1500 d/dak örneğinin neden LA7’ye düştüğü.
- LA.D, LA.DG, LA.S ve LA.DS varyantlarında basınç ve debi kontrolünün güç eğrisiyle nasıl birleştiği.

Kaynak sınırı

Rexroth veri sayfası regülatörün tam iç spool/spring geometrisini açıklamaz. Bu kılavuzdaki “servo denge” açıklamaları, veri sayfasındaki devre sembolleri ve değişken deplasmanlı pompa çalışma fiziğiyle uyumlu işlevsel açıklamadır; üreticinin iç parça geometrisinin birebir çizimi değildir.

Önce A10VO'nun “değişken deplasman” kısmını anlayalım



Şekil 1 - İşlevsel anlatım. Üreticinin birebir kesit resmi değildir; çalışma ilişkilerini göstermek için hazırlanmıştır.

Mil ve dönen grup: Tahrik motoru pompa milini çevirir. Silindir bloğundaki pistonlar dönerken eğik plakaya dayanır. Eğik plakanın açısı pistonların bir turdaki ileri-geri strokunu belirler.

Eğik plaka açısı → Vg: Eğik plaka açısı büyüdükçe piston stroku artar ve bir devirde pompalanan geometrik hacim Vg büyür. Açı küçüldükçe Vg azalır. Sıfır açığa yaklaşıldığında pompa “zero stroke / minimum displacement” yönüne gider.

Vg → debi: Aynı devirde Vg ne kadar büyükse debi o kadar büyüktür. Bu nedenle LA regülatörünün debiyi düşürmesinin temel yolu çıkışta yağ boğmak değil, pompanın kendi Vg değerini küçültmektir.

Servo piston: Regülatör, servo kontrol basınçlarını değiştirerek eğik plakanın konumunu değiştirir. LA'nın esas kontrol çıktısı “daha az veya daha fazla Vg” komutudur.

Kritik fark

Bir relief valfi fazla debiyi yüksek basınç altında tanka boşaltıp gücü ısıya çevirebilir. LA ise yük arttığında pompanın ürettiği debiyi azaltır. Bu yüzden primer güç kaynağının - örneğin dizel motorun - aşırı torkla yüklenmesini sınırlamak için çok daha doğrudan bir yöntemdir.

Basınç yükseldiğinde içeride ne oluyor?



Şekil 2 - Yük artışına karşı LA kontrol döngüsünün işlevsel sıralaması.

1. Yük artar - Silindir daha ağır yükü kaldırmaya başlar, hidrolik motor daha yüksek karşı tork görür veya bir kısma elemanı akışı daha fazla sınırlar. Tüketicinin aynı hareketi sürdürebilmesi için daha yüksek basınç gerekir.

2. Pompa çıkış basıncı pB yükselir - B hattındaki basınç artışı LA kontrol bloğuna geri beslenir. Veri sayfasındaki devrelerde B/MB ve kontrol hatları bu basınç bilgisinin regülatörlere taşındığını gösterir.

3. Aynı Vg ile mil torku yükselmek ister - $M = Vg \times \Delta p / (20\pi \times \eta_{hm})$. Vg sabitken basınç yükselirse tahrik milinden istenen tork da yükselir. LA'nın müdahale nedeni tam olarak budur.

4. LA karakteristiği sınırı aşılmaya başlar - Fabrikada seçilen LA karakteristiği - örneğin 20 kW @ 1500 d/dak - belirli bir tork seviyesine karşılık gelir. Basınç etkisi bu seviyeye ulaştığında regülatör servo sistemini destrocking yönüne sürer.

5. Eğik plaka açısı ve Vg küçülür - Piston stroku kısalır. Pompa bir devirde daha az yağ taşımaya başlar.

6. Debi q düşer - $q = Vg \times n \times \eta_v / 1000$ olduğu için, devir sabitse Vg'deki azalma debiyi doğrudan düşürür.

7. Tork yeniden ayar civarına gelir - Basınç yükselmiş olsa bile daha küçük Vg sayesinde $Vg \times p$ çarpımı sınırlanır. Böylece pompa mil torku yaklaşık LA ayar değerinde dengelenir.

8. Basınç yeniden düşerse süreç tersine döner - Yük azalınca pB düşer. Regülatör daha büyük deplasmana izin verir; pompa tekrar stroking yönünde hareket eder ve Vg / debi artar. Ancak başka bir kontrol - DR basınç kesme veya S debi kontrolü - daha küçük Vg istiyorsa o kontrol sınır olur.

Neden “sabit güç” deniyor ama LA aslında torkla çok yakından ilgili?

$$q = Vg \times n \times \eta_v / 1000$$

Debi [L/dak]. Vg [cm³/dev], n [d/dak]. Devir sabitken q doğrudan Vg ile orantılıdır.

$$M = Vg \times \Delta p / (20\pi \times \eta_{hm})$$

Pompa mil torku [Nm]. Basınç artışı, Vg azaltılmazsa tahrik motorunun gördüğü torku artırır.

$$P = 2\pi \times M \times n / 60000$$

Mil gücü [kW]. Aynı torkta güç devirle doğru orantılıdır.

$$P_{hyd} \approx q \times \Delta p / 600$$

Hidrolik güç [kW] için pratik form. Kayıplar dikkate alınmadan debi × basınç çarpımıdır.

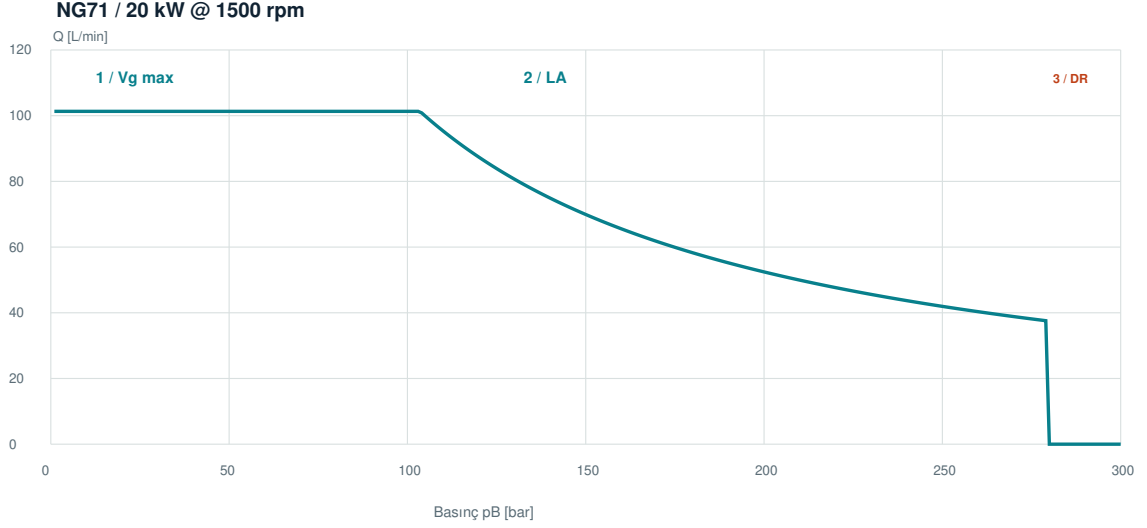
Veri sayfası sayfa 13'te sabit sürücü torku için debi ile basınç çarpımının sabit tutulduğunu söyler. Bunun nedeni zincir halinde şöyledir: **q ∝ Vg × n, M ∝ Vg × p. Devir n sabitse q × p sabit tutmak, Vg × p ve dolayısıyla mil torkunu da yaklaşık sabit tutar.**

20 kW @ 1500 d/dak ne demek?

Bu ifade tüm devirlerde 20 kW sınırı demek değildir. 20 kW / 1500 d/dak ifadesi fabrikada yaklaşık Mset = 127.3 Nm tork karakteristiğine karşılık gelir. Aynı tork 1000 d/dak'ta ≈13.3 kW, 2000 d/dak'ta ≈26.7 kW eder. Bu yüzden değişken devirli dizel uygulamasında “kW” ifadesini referans devirle birlikte okumak zorunludur.

Devir	Aynı 127.3 Nm torkta mil gücü
1000 d/dak	≈ 13.3 kW
1500 d/dak	≈ 20.0 kW
2000 d/dak	≈ 26.7 kW

LA.D pompayı tek bir şekilde değil, yük durumuna göre üç farklı rejimde görür



Şekil 3 - Eğitim modeli. Verim varsayımları: $\eta_v=0.95$, $\eta_{hm}=0.92$. DR geçişi görselleştirme için yumuşatılmıştır.

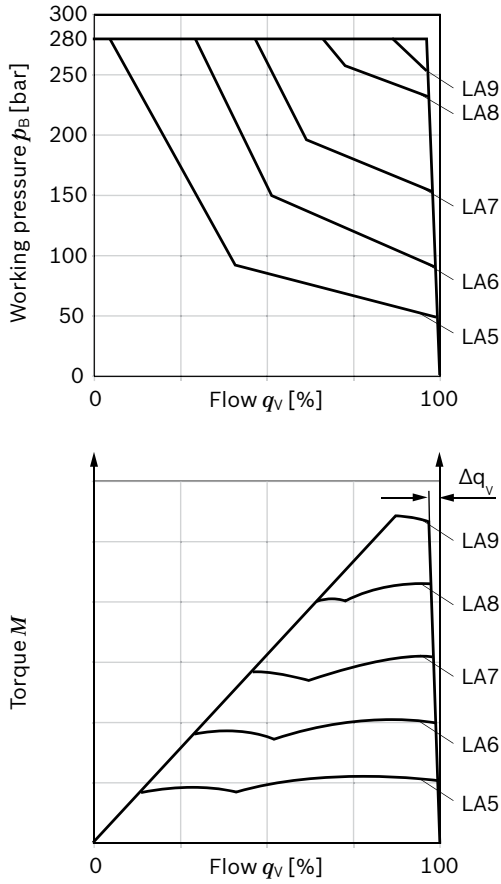
Bölge	Ne belirliyor?	Pompa ne yapıyor?	Operatör ne görür?
1. Tam deplasman	Yük basıncı LA başlangıcının altında	$V_g \approx V_{gmax}$	Debi yaklaşık n ve V_{gmax} ile belirlenir.
2. LA tork/güç bölgesi	Tork karakteristiği	pB arttıkça V_g ve q azalır	Basınç artar ama motor torku yaklaşık sınırlı kalır.
3. DR basınç kesme	Maksimum basınç ayarı	Pompa minimum strok yönüne gider	Basınç limitinde debi çok azalır; hareket yavaşlar/durur.

LA ile DR'yi karıştırmayın

LA, motor/pompa torkunu güç eğrisi boyunca sınırlar. DR ise belirlenen maksimum basınca gelindiğinde pompayı daha küçük deplasmana götürerek basıncı sınırlar. LA.D'de ikisi aynı pompada birlikte bulunur.

Sayfa 13'teki LA karakteristik eğrileri bize ne söylüyor?

▼ Characteristic curve LA.



Şekil 4 - Kaynak görsel: Bosch Rexroth RE 92705/2019-03-25, s.13. Eğitim amacıyla kırılmıştır.

- Yatay eksen debinin q_V yüzdesidir; %100 tarafı pompanın büyük deplasman tarafını temsil eder.
- Düşük basınçta pompa %100 debiye yakın kalabilir. LA sınıfına ait “beginning of control” basıncına yaklaşıldığında eğri sola doğru döner; yani basınç artarken izin verilen debi/deplasman azalır.
- LA5 → LA9 ilerledikçe daha yüksek tork / daha yüksek kontrol başlangıç aralığına izin verilir. Bu yüzden aynı pompa gövdesinde daha güçlü tahrik motoruna uygun daha yüksek LA sınıfı seçilebilir.
- Alt tork grafiği ideal matematiksel çizgi değil, gerçek kontrol karakteristiğini gösteren üretici eğrisidir; Δq_V ve eğri şekli regülatörün ideal olmayan davranışını hatırlatır.
- Sayfa 13, “flow control is possible below the power control curve” der. Yani S/FR debi kontrolü pompayı daha küçük V_g 'ye indirebilir; fakat güç eğrisinin izin verdiğiinden daha fazla debiyi zorlayamaz.

NG71 + 20 kW @ 1500 d/dak: LA kontrolünü rakamlarla görelim

Kaynak veri: NG71 için $V_{gmax} = 71.1 \text{ cm}^3/\text{dev}$. Sipariş karakteristiği örneği olarak 20 kW @ 1500 d/dak kullanılıyor. Eğitim hesabında $\eta_v=0.95$ ve $\eta_{hm}=0.92$ varsayılmıştır.

$$M_{set} = \frac{20 \times 60000}{(2\pi \times 1500)} = 127.3 \text{ Nm}$$

20 kW @ 1500 d/dak ayarının karşılık geldiği yaklaşık tork.

$$p_{start} \approx \frac{M_{set} \times 20\pi \times \eta_{hm}}{V_{gmax}} \approx 103.5 \text{ bar}$$

Eğitim modelinde tam deplasmanda tork sınırına ulaşılan yaklaşık basınç. Bu değer üretici toleransı değil, varsayımlı hesap sonucudur.

pB [bar]	Vg [cm ³ /dev]	q [L/dak]	M [Nm]	Pmil [kW]	Durum
80	71.1	101.3	98.4	15.5	Tam deplasman
100	71.1	101.3	123.0	19.3	Tam deplasman
104	70.8	100.8	127.3	20.0	LA sınırlama
150	49.1	69.9	127.3	20.0	LA sınırlama
200	36.8	52.4	127.3	20.0	LA sınırlama
250	29.4	42.0	127.3	20.0	LA sınırlama

250 bar'da LA olmasaydı ne olurdu?

NG71 pompa tam 71.1 cm³/dev deplasmanda 250 bar'da kalsaydı, $\eta_{hm}=0.92$ varsayımıyla mil torku $\approx 307.5 \text{ Nm}$ ve 1500 d/dak'ta mil gücü $\approx 48.3 \text{ kW}$ olurdu. LA ise Vg'yi yaklaşık 29.4 cm³/dev'e indirerek torku $\approx 127.3 \text{ Nm}$ ve mil gücünü $\approx 20 \text{ kW}$ civarında tutar. İşte LA'nın motoru "boğulmaktan" koruyan esas etkisi budur.

LA kodu nasıl seçilir ve ne anlama gelir?

Sayfa 13'teki tablo her LA tipi için iki şeyi birlikte verir: kontrolün başlaması beklenen basınç bandı ve pompa boyutuna bağlı tork aralığı. Bu kodlar maksimum basınç ayarı değildir.

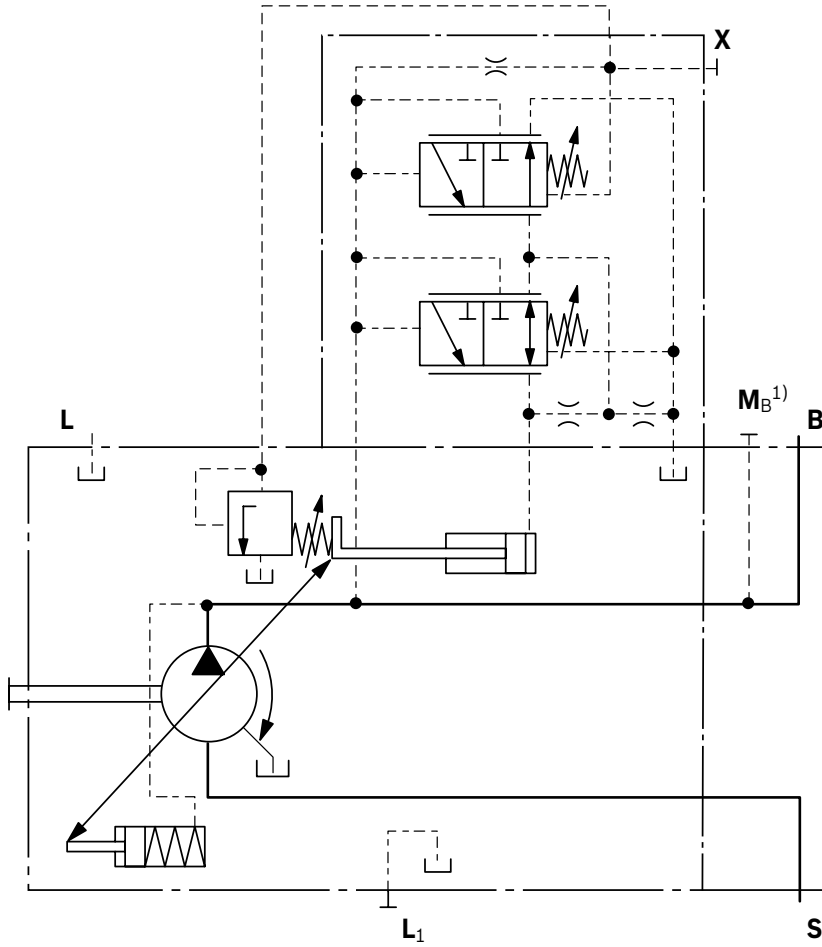
Kod	Kontrol başlangıcı [bar]	NG45 [Nm]	NG71 [Nm]	NG100 [Nm]	NG140 [Nm]	NG180 [Nm]
LA5	≤ 50	≤ 42.0	≤ 67.0	≤ 94.0	≤ 132.0	≤ 167.0
LA6	51-90	42.1-76.0	67.1-121.0	94.1-169.0	132.1-237.0	167.1-302.0
LA7	91-160	76.1-134.0	121.1-213.0	169.1-299.0	237.1-418.0	302.1-540.0
LA8	161-240	134.1-202.0	213.1-319.0	299.1-449.0	418.1-629.0	540.1-810.0
LA9	> 240	> 202.1	> 319.1	> 449.1	> 629.1	> 810.1

NG71 örneği

20 kW @ 1500 d/dak → 127.3 Nm. NG71 sütununda 127.3 Nm, LA7 aralığı olan 121.1-213.0 Nm içine düşer. Dolayısıyla bu örnek karakteristik LA7 sınıfıyla uyumludur.

Farklı pompa boyutlarında aynı güç ayarı farklı kontrol başlangıç basıncı doğurur; çünkü Vgmax değişir. Bu nedenle yalnız kW değerine bakarak LA kodu seçmek doğru değildir: pompa boyutu, referans devir ve istenen tork birlikte değerlendirilir.

Basınç kesmeli LA.D sembolünü parça parça okuyalım



Şekil 5 - LA.D devre sembolü. Kaynak: Bosch Rexroth RE 92705/2019-03-25, s. 13.

B portu: Ana pompa çıkışıdır. Sistem çalışma basıncı p_B burada oluşur.

S portu: Pompa emiş portudur.

L / L1: Gövde drenaj / tank bağlantılarıdır; gerçek tesisatta üretici montaj kuralları ayrıca uygulanmalıdır.

Servo düzeni: Pompanın deplasmanını değiştiren ayar mekanizmasını temsil eder. Regülatörler servo kuvvet dengesini değiştirerek V_g 'yi küçültür veya büyütür.

LA güç elemanı: Çalışma basıncı ile fabrika ayarlı güç/tork karakteristiğinin etkileşimine göre pompayı destroke eder.

DR basınç elemanı: Ayar basıncı aşıldığında daha küçük V_g yönünde müdahale ederek maksimum çıkış basıncını sınırlar. Sayfa 9: 20-280 bar, standart 280 bar.

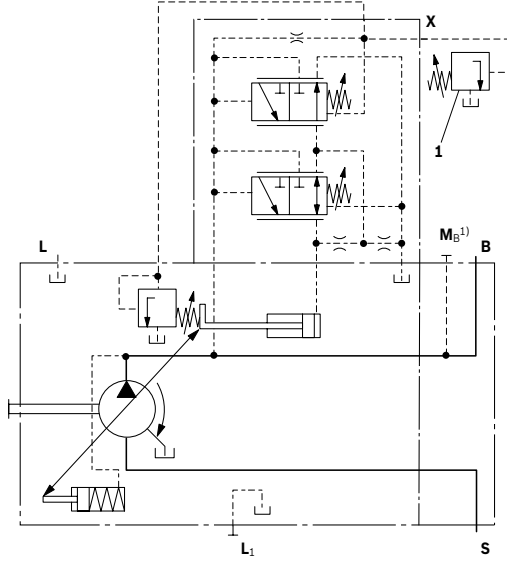
X / MB: Devre varyantına ve port plate'e bağlı kontrol/ölçüm bağlantılarıdır. MB yalnız port plates 22 ve 32 ile belirtilmiştir.

Basınç kesme sırasında ne olur?

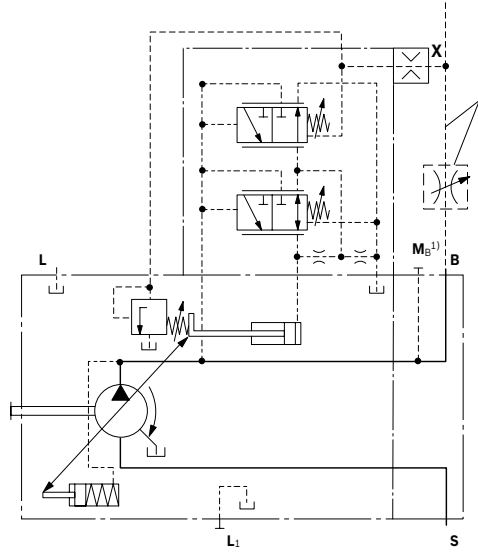
Sistem 280 bar gibi DR ayarına yaklaştığında LA'nın tork eğrisinden bağımsız olarak DR de daha küçük V_g ister. Kombinasyonda V_g azaltma yönü önceliklidir; sonuç pompanın minimum stroke yönüne gitmesidir.

LA.DG, LA.S ve LA.DS: aynı güç kontrolüne başka hangi fonksiyonlar ekleniyor?

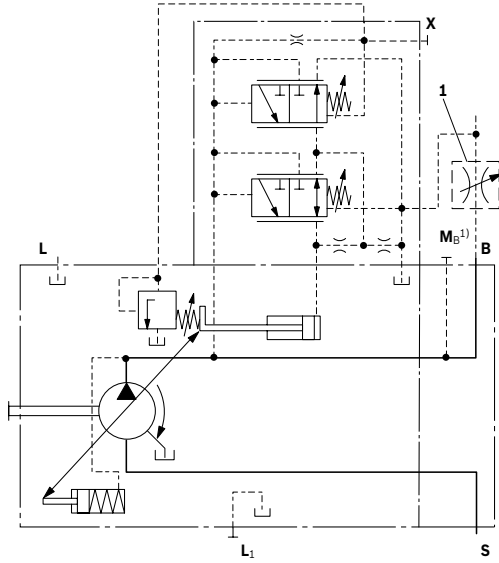
▼ Circuit diagram LA.DG with pressure cut-off, remotely controlled



▼ Circuit diagram LA.DS



▼ Circuit diagram LA.S with separate flow control



1 The metering orifice and the pressure relief valve and line are not included in the scope of delivery.

Şekil 6 - LA varyant devreleri. Kaynak: Bosch Rexroth RE 92705/2019-03-25, s.14. Eğitim amacıyla kırılmıştır.

Varyant	Güç kontrolü	Basınç kontrolü	Debi kontrolü	Pratik anlam
LA.D	LA	Yerel DR	-	Motor torku + maksimum basınç
LA.DG	LA	Uzaktan DRG / X	-	Maksimum basınç harici relief üzerinden değiştirilebilir
LA.S	LA	D yok	S / FR benzeri	Ayrı metering orifice ile talep debisi
LA.DS	LA	DR	S / FR benzeri	Güç + basınç + debi kontrolü birlikte

LA.DG - X hattı

Sayfa 10 DRG için X portuna ayrı bir pressure relief valve bağlanır; maksimum hat uzunluğu 2 m önerilir. Standart diferansiyel basınç 20 bar, ayar aralığı 10-22 bar; X'te yaklaşık 1.5 L/dak pilot akışı belirtilir. X hattının tanka boşaltılması, sistem etkileri hariç, Δp ayarından yaklaşık 1-2 bar daha yüksek standby basıncı oluşturur.

LA.S / LA.DS - debi kontrolü

Sayfa 11-12'de DRS mantığında ayarlanabilir bir orifisin öncesi ve sonrası arasındaki diferansiyel basınç kontrol edilir. Standart Δp 14 bar, ayar aralığı 14-22 bar. Pompa debisi tüketicinin gerçek ihtiyacına eşitlenmeye çalışılır.

10 · ÖNCELİK MANTIĞI

Aynı anda güç, debi ve basınç kontrolü devredeyse hangisi kazanır?

Sayfa 11'de üretici kontrol kombinasyonları için açıkça **"Vg reduction has priority"** der. Bunu en kolay şu mühendislik modeliyle düşünebilirsiniz:

$$Vg, final \approx \min(Vg, power, Vg, flow, Vg, pressure)$$

Her regülatör kendi sınırına göre izin verilen bir deplasman ister. Pompayı daha küçük Vg'ye zorlayan fonksiyon çalışma noktasını sınırlar.

Durum	Baskın kontrol	Sonuç
Düşük yük + düşük debi talebi	S / flow control	Debi kontrolü pompayı gereken q seviyesine indirir.
Yük artıyor, debi talebi yüksek	LA	Güç eğrisine gelince LA daha fazla debiye izin vermez.
Basınç DR ayarına ulaşıyor	DR / DRG	Maksimum basınç için pompa minimum stroke yönüne gider.
X hattı boşaltılıyor (DG)	DRG remote	Pompa düşük standby basıncına çekilebilir.

Bu neden önemlidir?

Makinede "joystick %100 istiyor ama debi gelmiyor" gözlemi her zaman pompa arızası değildir. Sistem LA güç limitine veya DR basınç kesmesine girmiş olabilir. Teşhiste pB, pompa Vg/angle bilgisi, motor devri ve talep debisi birlikte okunmalıdır.

Makine üzerinde ne görürüm?

Silindir boşta hızlı hareket ediyor

Basınç düşük → LA devrede değil → Vg büyük → yüksek debi.

Silindir yüke girince yavaşlıyor ama motor devri çökmüyor

Basınç yükseldi → LA Vg'yi azalttı → debi düştü → motor torku korundu. Bu LA'nın normal davranışı olabilir.

Basınç maksimum değerinde, hareket neredeyse durdu

DR/DRG basınç kesmeye girmiş olabilir; pompa minimum deplasmana yaklaşır.

Devir düşerken güç limiti değişiyor gibi görünüyor

LA tork karakteristiği aynı kalabilir, fakat $P = M\omega$ olduğu için mevcut mil gücü devirle değişir.

S varyantında valf açıklığı küçülünce debi düşüyor

Orifis Δp kontrolü istenen debiyi belirler; ancak LA güç eğrisi daha düşük Vg istiyorsa güç sınırı baskın olur.

Teşhis için minimum veri seti

Motor devri n, pompa çıkış basıncı pB, mümkünse pompa swivel angle / Vg bilgisi, tüketici debi talebi, DR/DRG basınç ayarı ve LA fabrika güç karakteristiği. Bu veriler olmadan "pompa debi vermiyor" gözlemi tek başına yeterli değildir.

ALGO TEAM üzerinde çalışma mantığını kendi gözünüzle doğrulayın

Laboratuvar: <https://algo-team.com/hydraulic-simulator/la-power-controller/>

Ana hidrolik simülatör: <https://algo-team.com/hydraulic-simulator/>

Deney	Ayar	Beklenen fizik
1	NG71, 1500 d/dak, 20 kW, p=80 bar	$V_g \approx V_{gmax}$; LA henüz sınırlamaz.
2	Basıncı 150 → 200 → 250 bar yap	V_g ve q azalırken mil torku ≈ 127 Nm civarında kalmalı.
3	Deviri 1000 → 2000 d/dak değiştir	Aynı tork ayarında mil gücünün devirle arttığını gözle.
4	DR cut-off değerini 280 → 220 bar indir	Pompa daha erken minimum stroke yönüne gitmeli.
5	LA.S / LA.DS'de flow demand azalt	Güç eğrisinin altında debi kontrolü baskın hale gelmeli.
6	Aynı basınçta Pref'i 20 → 30 kW yap	İzin verilen tork ve V_g artmalı; LA daha geç / daha yüksek debide sınırlamalı.

Model sınırı

Simülatör eğitim amaçlı quasi-static modeldir. Gerçek spool geçişi, yay toleransı, histerezis, pilot hat dinamiği, sıcaklık/viskozite etkileri ve üreticiye özel iç geometriyi birebir modellemez.

Tasarımda ve seçimde unutulmaması gerekenler

- LA pilot akış tüketimi: maksimum yaklaşık 5.5 L/dak (RE 92705 s.13).
- DR basınç kontrol ayar aralığı: 20-280 bar; standart 280 bar (s.9).
- DRG diferansiyel basınç: standart 20 bar; 10-22 bar ayar aralığı; X hattı için maksimum 2 m önerisi (s.10).
- DRS/DRSC debi kontrol diferansiyeli: standart 14 bar; 14-22 bar ayar aralığı (s.12).
- Debi, tork ve güç denklemleri: RE 92705 s.7.
- LA güç kontrol prensibi, LA5-LA9 tablosu ve güç dönüşümü: s.13.
- LA.DG / LA.S / LA.DS devre varyantları: s.14.

Kullanım amacı

Bu kılavuz öğrenme, ön boyutlandırma ve sistem davranışını anlamak içindir. Nihai pompa seçimi, ayar, güvenlik ve devre tasarımı güncel Bosch Rexroth teknik dokümanı ve uygulamaya özel üretici onayı esas alınmalıdır.

LA... – Pressure, flow and power controller

Pressure controller equipped as DR(G), see page 9 (10).

Equipment of the flow controller like DRS, see page 11.

In order to achieve a constant drive torque with varying working pressures, the swivel angle and with it the output flow from the axial piston pump is varied so that the product of flow and pressure remains constant. Flow control is possible below the power control curve. When ordering

please state the power characteristics to be set at the factory in plain text, e.g. 20 kW at 1500 rpm.

Controller data

- For technical data of pressure controller DR see page 9.
- For technical data of flow controller FR see page 11.
- Pilot fluid consumption max. approx. 5.5 l/min.

Beginning of control	Torque M [Nm] for size					Type code
	45	71	100	140	180	
up to 50 bar	up to 42.0	up to 67.0	up to 94.0	up to 132.0	up to 167.0	LA5
51 to 90 bar	42.1 - 76.0	67.1 - 121.0	94.1 - 169.0	132.1 - 237.0	167.1 - 302.0	LA6
91 to 160 bar	76.1 - 134.0	121.1 - 213.0	169.1 - 299.0	237.1 - 418.0	302.1 - 540.0	LA7
161 to 240 bar	134.1 - 202.0	213.1 - 319.0	299.1 - 449.0	418.1 - 629.0	540.1 - 810.0	LA8
over 240 bar	over 202.1	over 319.1	over 449.1	over 629.1	over 810.1	LA9

Conversion of the torque values in power [kW]

$$P = \frac{M}{6.4} \text{ [kW]} \quad (\text{at 1500 rpm}) \quad \text{or} \quad P = \frac{2\pi \times M \times n}{60000} \text{ [kW]} \quad (\text{For rotational speeds see page 7})$$

Kaynak özeti görseli - Bosch Rexroth RE 92705/2019-03-25, s.13. Telif Bosch Rexroth AG'ye aittir; eğitim amacıyla bu kılavuzda kaynak gösterilerek kullanılmıştır.